

FORMACIÓN DE CELDAS TRABAJO-MÁQUINA EN TECNOLOGÍA DE GRUPOS MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES

De la Fuente García, D.
Pino Diez, R.
Parreño Fernández, J.
Universidad de Oviedo

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una somera descripción del concepto de Tecnología de Grupos (TG), así como la evolución de este concepto a lo largo de la historia industrial. Posteriormente se comenta el problema de la clasificación o formación de celdas en tecnología de grupos como la mayor dificultad para su implantación, y se describe la implantación de TG en una empresa de motocicletas comentando los inconvenientes encontrados. Finalmente se resuelve el problema de la clasificación mediante redes neuronales artificiales, incluyendo una pequeña descripción de esta herramienta de inteligencia artificial. A modo de conclusión comentamos que las redes neuronales aplicadas a la tecnología de grupos, constituye una herramienta muy útil cuando el problema está formado por muchas máquinas y piezas o componentes.

PALABRAS CLAVE: Tecnología de Grupos. Redes Neuronales. Celdas Trabajo-Máquina.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realiza una somera descripción del concepto de Tecnología de Grupo, en adelante TG, así como la evolución de este concepto a lo largo de la historia industrial. Posteriormente se hace una descripción del problema de clasificación o formación de celdas en tecnología de grupos, para pasar posteriormente a resolverlo mediante redes neuronales, a la vez que hacemos una pequeña descripción de esta herramienta de inteligencia artificial.

APROXIMACIÓN A LA TECNOLOGÍA DE GRUPOS

Las industrias de producción masiva se caracterizan por la fabricación de un gran número de componentes del mismo tamaño y configuración. En ellas, se obtiene una elevada productividad debido al uso extensivo de la automatización, máquinas de propósito especial y

métodos productivos de flujo en línea. El equipamiento necesario para este tipo de producción precisa de una elevada inversión de capital y es inherentemente inflexible mientras está operando.

Durante los últimos años, sin embargo, las empresas de fabricación están dirigiendo sus pasos hacia la adopción de una producción del tipo multiproducto y tamaño pequeño de lote, con vistas a adaptarse a un movimiento del mercado caracterizado por una sociedad diversificada y especializada, así como a unos más cortos ciclos de vida de los productos. El número de empresas en todo el mundo que utilizan una producción de tipo multiproducto con tamaño pequeño de lote, se espera que se incremente en años venideros.

Se han realizado muchos esfuerzos para investigar la eficiencia de la producción masiva. Sin embargo, no son tantos los relacionados con la producción multiproducto. Por ello, se ha hecho necesario, establecer algunas teorías útiles para hacer flexibles y efectivos en la práctica, los sistemas de producción basados en la filosofía multiproducto con tamaño de lote pequeño.

En esta filosofía de producción el flujo de materiales para obtener cada uno de los productos es distinto y complicado, a diferencia de lo que ocurre en la producción masiva. Las características más reseñables de la fabricación multiproducto son las siguientes:

- Variedad de productos.
- Variedad de procesos productivos.
- Complejidad de la capacidad productiva.
- Falta de certeza sobre las condiciones exteriores.
- Dificultad en la planificación de la producción.
- Situación dinámica de implementación y control de la producción.

Se han hecho varios acercamientos hacia esta filosofía de producción, uno de ellos es la llamada Tecnología de Grupos (GT, Group Technology). Este método ha obtenido un notorio éxito entre las empresas de fabricación en todo el mundo. Es una filosofía de fabricación encaminada a incrementar la eficiencia de la producción identificando y explotando las similitudes entre los componentes y los procesos operativos que forman parte de una cadena de fabricación multiproducto. Estas similitudes pueden ser tanto en diseño como en fabricación. Aplicando la técnica GT, se pueden obtener muchas ventajas, entre las que destacan:

- Efecto de producción masiva.
- Adopción de una vía de flujo en la ruta productiva.
- Reducción del tiempo y del coste de actualizaciones en las máquinas.
- Agilización del flujo de materiales, reduciendo los stocks y los tiempos de espera.
- Racionalización del diseño.
- Estandarización de procesos productivos.

Convencionalmente, en la producción multiproducto, cada parte es tratada como única desde su diseño y a lo largo de toda su fabricación; sin embargo, agrupando componentes que

son tratados de una forma similar, en familias de componentes (part families), basadas bien en diseños o en procesos productivos similares, es posible incrementar la productividad mediante una racionalización más efectiva del diseño, así como mediante la estandarización y racionalización de la fabricación.

A pesar de que durante muchos años la Tecnología de Grupos no recibió el reconocimiento formal que se merece y no ha sido rigurosamente practicada como un acercamiento sistemático hacia mejoras en la productividad, el desarrollo e implementación de la fabricación integrada mediante computador (CIM) condujo a un interés renovado hacia la Tecnología de Grupos, ya que ésta aporta los términos esenciales para obtener una mayor productividad, apoyada en la integración del CAD/CAM, en las "part families".

Es cierto que el avance de la tecnología industrial ha sido muy significativo en décadas recientes, pero todavía nos encontramos en las primeras etapas de la revolución técnica en fabricación, especialmente en el área de aplicaciones integradas mediante computador en fabricación. Aunque este mundo está compuesto por sociedades muy complejas, soportadas por muchas actividades, la fabricación es aún la actividad principal, no sólo en los países industrializados, sino en algunos en desarrollo. Muchos países se dan cuenta de este hecho y hacen grandes esfuerzos con vistas a mejorar la tecnología productiva y, por tanto, la productividad.

Hay que tener en cuenta que, normalmente, la fabricación contribuye de una manera primordial en el Producto Nacional Bruto de los países industrializados. A pesar de ello, la fabricación no es la actividad eficiente y altamente productiva que debería ser.

En los últimos años se ha dirigido una mayor atención y esfuerzo hacia el control, automatización y optimización de la fabricación. En la industria moderna de fabricación, uno de los hechos más significativos a ser examinado es el cambio en las tendencias productivas. Una encuesta reciente sobre aplicaciones de Tecnología de Grupos en la industria del metal en los U.S.A. muestra que el tamaño medio de los lotes es menor de 50 piezas en la mayoría de las industrias.

La tendencia actual indica que el porcentaje de fabricación multiproducto con tamaño pequeño de lote, ha estado aumentando. De ahí que el potencial para la mejora económica de la fabricación mediante la Tecnología de Grupos sea no solamente enorme ahora, sino que crecerá en el futuro.

COMENTARIOS HISTÓRICOS SOBRE TECNOLOGÍA DE GRUPOS

El término de tecnología de grupos se acuñó en la década de los setenta, aunque las ideas que lo contienen son muy viejas, ya que lo que pretende la TG es producir componentes de tipo similar mediante la agrupación de máquinas, equipos de trabajo o mediante la creación de minilíneas de producción en lote.

Ya que la idea de TG puede provenir de principios de siglo o antes, vamos a comentar las diferencias entre su enfoque a lo largo del tiempo. En 1925 en el artículo presentado por R.E.

Flanders para la American Society of Mechanical Engineers describe como resolvían los problemas que tenían en la fabricación utilizando los siguientes principios: ‘estandarización de productos, departamentización por productos y no por procesos, minimización del transporte y control visual del trabajo’.

J.C. Kerr en un artículo presentado en 1938 en la Institution of Production Engineers, sobre planificación en una empresa de ingeniería sugiere el concepto de ‘seccionarización’ de grupos de maquinas herramientas, ‘la idea es dar a ciertas máquinas trabajos estándar que estén en secuencia con otras máquinas’. En 1949, Arn Korling de la empresa sueca de camiones Scania presenta el artículo en Paris titulado ‘Producción en grupo y su influencia en la productividad’. El principio de la producción en grupo es la adaptación de la producción en línea a diferentes máquinas para que realicen trabajos en lote. Esto implica una descentralización radical y la creación de unidades o grupos los cuales disponen del material necesario para realizar una parte del producto que se está fabricando.

Por otra parte en los países del Este de Europa, se estaba produciendo una evolución de estas ideas de una forma semejante que se demuestra por la publicación en 1958 en Rusia del libro de Mitrofanov “The Scientific Principles of Group Technology”. En esta época, existen varias razones para aclimatar algunas empresas industriales a este desarrollo, entre las que cabe destacar:

- El crecimiento de las empresas estaba creando dificultades en la realización de productos muy complejos.
- Había un deseo de reducir los costes de producción.
- La rápida utilización de la electrónica en el procesamiento de datos demandaba una clasificación y codificación del sistema.
- Había un deseo de cambiar de la fabricación en masa a la producción en pequeños lotes.

Desde 1965 hasta los años ochenta, las fabricas en la Unión Soviética utilizaron tecnologías de grupo y se produjo una gran creación literaria en este tema. Entre los trabajos mas notables podemos destacar los de Mitrofanov (con su famoso libro, ya citado y titulado “Principios científicos de tecnología de grupos”), Ivanov, y Dem Yanyuk. Es posible que en un sistema económico planificado de forma centralizada, fuese peculiarmente adecuado para emerger la TG y ciertas políticas de estandarización nacional tales como establecer rangos de tamaños, podría haber sido muy útil para el desarrollo de esta tecnología.

El trabajo mas importante sobre TG en Alemania, se llevó a cabo por el Aachen Technical University en 1960 desarrollado por Opitz que creo un sistema de clasificación de componentes de máquinas. En Inglaterra las empresas Serck-Audco, Ferrodo, y Ferranti implementaron TG con la empresa consultora Brisch que tenía especialistas en codificación y clasificación que crearon cierto interés por esta técnica. Posteriormente otros grupos como el de Manchester University Institute of Science and Technology, empezaron a estudiar en profundidad este tema. En Turin, estudios realizados por el profesor Burbridge en métodos de análisis del flujo de producción también pueden considerarse una interesante contribución en este tema.

En la década de los cincuenta en Europa del Este, se realizaron diferentes trabajos en Checoslovaquia en los institutos de investigación VUOSO y VUSTE. En Alemania del Este, en el Instituto Universitario Carl Marx y la empresa Zeiss, así como en Polonia en el instituto industrial IOPM y en Yugoslavia en el IAMA.

En cuanto a Europa Occidental podemos citar al instituto holandés TNO, a la organización NAAK noruega, a las organizaciones SAT, PTE los consultores COPIC en Francia, la consultora PGM sueca, Fiat en Italia y Sulzer en Suiza.

Mientras en USA en la década de los 50, diferentes institutos de investigación, los consultores Brich-Brin, Alliss-Chalmers y otros han trabajado en el estudio de la TG.

Además, en la década de los sesenta comenzó a buscarse aplicaciones a la TG desarrollándose el concepto de "Family of parts" que se basaban en un principio en semejanzas en tamaño y forma de los productos y en algunos casos se produjo una mejora de la productividad impresionante (A modo de ejemplo podemos decir que la empresa Langston Division of Harris-Intertype Corporation en Camden, New Jersey que fabricaba productos de empaquetado y maquinaria para la preparación y corte de papel con 40.000 componentes de producto y tamaño de lotes entre 4 y 6 unidades, teniendo trabajo en proceso de 3 a 5 semanas). En esta empresa en 1969 y sacando fotografías de los elementos que tenían, crearon 6 familias de partes, que después redujeron a 5 a la vez que desarrollaron líneas de producción para cada una de las familias creadas. El resultado fue que mejoraron la productividad en términos de horas-hombre directas, en un 50 % debido a la reducción de tiempos de preparación, equilibrado de la cadena de montaje, fácil acceso a las herramientas, menores interrupciones en la secuenciación, y reduciéndose el ciclo temporal de tres semanas a cinco días.

En la década de los setenta el concepto de estandarización irrumpe en la TG, a la vez que se hace una clasificación general de los atributos que tienen los componentes, a saber:

- Piezas geométricas o gráficas: tamaño, forma etc.
- Funciones de los componentes: mango, abrazadera, etc.
- Según el tipo de fabricación: tamaño del lote, ruta del proceso etc.
- Material de la pieza.

Por ello en la década de los ochenta surge los conceptos de codificación y clasificación desarrollándose tanto en USA, Japón y Europa diferentes métodos de codificación entre los que podemos citar los que aparecen en la tabla 1.

En la figura 1., se puede ver un ejemplo de codificación utilizando un sistema japonés, de una pieza concreta (Tapón redondo de diferentes características de longitud, diámetro, materiales, etc.).

Podemos decir que en esta época, a la par, se está implementando en muchas empresas la aplicación de Just In Time, lo que implica "células de analogía" abandonando la fabricación por departamentos funcionales o sea que en un mismo puesto se realiza el máximo número de operaciones y se responsabiliza el personal de su calidad. Además de buscar una mejora continua desde el diseño hasta el producto final.

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA DE GRUPOS A UNA EMPRESA DE MOTOCICLETAS

A modo de ejemplo, vamos a describir la implantación de TG a la sección de soldadura en una fábrica de motocicletas y ciclomotores de pequeña cilindrada (Suzuki Motor España S.A.) que tiene una capacidad de 63.000 vehículos al año fabricando cinco modelos básicos en dos o tres colores diferentes en lotes de 150 vehículos. Esta empresa, esta involucrada en un proceso de mejora continua aplicando la filosofía JIT. Hemos considerado la sección de soldadura porque es la que mejor refleja la aplicación de tecnología de grupos, en esta empresa aunque tienen una de mecanizado en la que intentaron implementar dicha metodología en el futuro.

Hace dos años soldaban en diferentes puntos de la empresa como se puede ver en la figura 2. con grandes lotes de fabricación que se transportaban en carretillas y se llevaban de un puesto a otro.

Partiendo de la creación de varias familias, una de ellas por ejemplo chasis compuesta de: Soldar tubo central, Añadir soportes laterales, soldar tubo dirección etc. se crearon dos minilíneas de soldar chasis (Una para los vehículos que mas se venden y otra para soldar los chasis del resto de vehículos). Para la creación de las minilíneas se seguía el criterio de que las piezas tuviesen la misma fase, pasasen por la misma maquinaria aunque tuviesen tiempo de ejecución diferente. Ahora cuando entra una pieza en una minilínea se acaba toda su fabricación en ella y no hay stocks intermedios. Aunque solamente pasen por esta sección 50 productos la mayoría evolucionan en una dirección aunque alguna excepción obliga al retorno de alguna pieza en alguna máquina. En la figura 3., se puede ver la situación actual.

El paso siguiente es el trabajo en grupo por parte de los trabajadores, los cuales muchas veces no están dispuestos a aceptar esta nueva situación o bien porque no existen unos claros objetivos o porque no se les ha explicado bien la concepción de la idea. Como el objetivo es trabajar en equipo aunque los incentivos son los mismos el razonamiento de muchos trabajadores es el siguiente: " Si el equipo lo forman cinco personas y en un momento dado falta una persona cuatro deben de hacer lo de cinco" pero el trabajo en grupo equivale a ayudar al mas rezagado del grupo o sea solidaridad entre los componentes, y en ocasiones debido a la individualidad de los españoles esto no resulta fácil. Por otra parte y debido al gran número de piezas, la aplicación de TG a nivel de organización en taller, del paso de las piezas por las máquinas, se hace de una forma intuitiva por lo que la aplicación de herramientas de inteligencia artificial puede ayudar mucho en el campo de la aplicación de TG, que es lo que describimos en el apartado siguiente.

UTILIZACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN LA RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE LA FORMACIÓN DE GRUPOS

La aplicación de la metodología de TG a un caso determinado, implica la identificación de familias de piezas o componentes, y de grupos de máquinas buscando similitudes.

A lo largo de los años, se han desarrollado diferentes métodos para hacer las agrupaciones o celdas de máquinas o componentes. Estos métodos van desde aproximaciones a

través de la clasificación y codificación, hasta los derivados de análisis exhaustivos de los procesos de fabricación. Los primeros tienen varias ventajas como la racionalización desde la fase de diseño y la reducción de la variabilidad, además de permitir que el análisis pueda ser llevado a cabo de una manera sistemática. Sin embargo, requieren un escrutinio exhaustivo de los datos de fabricación y del flujo de materiales. Los métodos de agrupamiento piezas-máquinas basados en el análisis directo de los procesos de fabricación llevan a la obtención de beneficios incluso a corto plazo. Utilizan información relativa a las rutas de las piezas a través de las máquinas, de forma que se parte de una matriz de ceros y unos que representan el paso o no de una pieza por una máquina. El objetivo será diagonalizar esta matriz, y si esto no fuera posible totalmente, se trataría de minimizar las transferencias entre los bloques o celdas.

Si consideramos que el número de máquinas o de tipos de máquinas, M , puede ser elevado, y por otro lado, el número de piezas o componentes a fabricar, N , también puede ser muy grande, es posible que sea necesario tratar con matrices con cientos de filas (piezas o componentes a fabricar), y decenas de columnas (máquinas o tipos de máquinas). Cuando se tienen que tratar casos con estos órdenes de magnitudes, el problema se convierte en un problema NP-Completo, el cual no es abordable por las técnicas actuales en los computadores más modernos, y por tanto se hace necesario el uso de algoritmos heurísticos de búsqueda de soluciones, como los métodos heurísticos de clasificación basados en la utilización de redes neuronales artificiales, uno de los cuales presentamos en esta ponencia.

Las redes neuronales (o redes de neuronas artificiales), son modelos matemáticos simplificados de las redes de neuronas que constituyen el cerebro humano. Estos modelos, están compuestas por un conjunto de "neuronas artificiales" o conjunto de unidades que procesan e intercambian información. Las neuronas de una red, están estructuradas en distintas capas, de forma que una neurona de una capa está conectada con las de la capa siguiente, a las que puede enviar información.

Cada neurona, tal como se muestra en la figura 4, constituye una "unidad de procesamiento" de información, convierte un conjunto de señales de entrada en una salida que es difundida a las neuronas de la capa siguiente. Esta conversión se realiza en dos etapas: primero, cada una de las señales de entrada es multiplicada por un coeficiente de ponderación ("peso sináptico") atribuido a la conexión; todos los productos son sumados para obtener una cantidad denominada "entrada ponderada total". En una segunda fase, cada unidad utiliza una función de transferencia entrada-salida, o función de activación, que transforma la entrada ponderada total en una señal de salida que es la que se difunde a las neuronas de la capa siguiente. La función de transferencia puede ser de tres tipos, (Lippmann, 1987):

- 1.-Lineal. La actividad de salida es proporcional a la entrada ponderada total.
- 2.-De umbral. La salida queda fija a uno de dos niveles, dependiendo si la entrada ponderada total es mayor o menor que cierto valor crítico denominado "umbral".
- 3.-Sigmoide. La salida varía de forma continua dependiendo de la entrada ponderada total, pero esta dependencia no es lineal.

Habitualmente, se suele utilizar la sigmoide como función de transferencia cuando se trata de aplicar la tecnología de redes neuronales al procesado de señales no-lineales (Lapedes y Farber, 1987), aunque es necesario tener presente que las tres son aproximaciones bastante burdas de la actividad de las neuronas reales.

Teniendo en cuenta el problema que se quiere tratar, se ha escogido una red del tipo Carpenter-Grossberg, como la más apropiada para la resolución del problema. Esta red tiene dos características que le hacen especialmente interesante: por un lado admite como entradas valores binarios (0 o 1), tal como tenemos la matriz de piezas-máquinas; y por otro lado, es un ejemplo tipo de red neuronal de *aprendizaje no-supervisado*.

En las redes neuronales de *aprendizaje supervisado*, se presentan a la red las entradas y la salida correcta para cada caso de entrada. El entrenamiento de la red consiste en el proceso de ajuste de los pesos sinápticos utilizando algoritmos como "Back-Propagation" o "Delta Rule", la variación de los pesos se basa en los errores entre las salidas actuales y las salidas deseadas.

Por el contrario, en el *aprendizaje no-supervisado*, la red no sabe inicialmente como debe ser la salida correcta. Cuando se presenta a la red un conjunto de vectores de entradas, la red los clasifica en distintas categorías dependiendo de sus similitudes. Para representar a cada categoría se utiliza un vector patrón (vector representativo), que una vez ha sido creado, se va actualizando de forma que pueda representar a la nueva entrada que la red clasificó como similar al vector patrón de la categoría. Cuando todos los vectores de entrada han pasado por la red, se habrán creado varios patrones, de forma que cada uno de ellos representa a una categoría de vectores.

Los componentes principales de la red neuronal de Carpenter-Grossman están representados en la figura 5. Consta de dos capas de neuronas: la capa de entradas y la de salidas. El número de neuronas de la capa de entradas coincide con el número de elementos del vector de entradas. Para un problema dado, si los datos de entrada se organizan poniendo en cada fila una pieza o componente y en cada columna una máquina o tipo de máquinas, el número de elementos del vector de entradas será el número total de tipos de máquinas, N . Cada neurona de la capa de entradas está conectada con cada una de las de la capa de salidas, a través de unos enlaces caracterizados por unos pesos b_{ij} . El número de neuronas de la capa de salidas coincidirá con el máximo de categorías que pueden resultar, que es igual al número de piezas o componentes, M . Cada valor de salida se realimenta a la red a través de unos enlaces caracterizados por los pesos t_{ji} .

El proceso comienza con la presentación del primer vector de entradas a la red, con lo que este vector se convierte en el patrón para la primera categoría. Esta categoría queda identificada por la activación de la primera neurona de la capa de salidas. Cuando se presenta a la red el segundo vector de entradas, se compara con el patrón de la primera categoría. Si se decide que es similar al patrón (dentro de los límites marcados por un coeficiente de similitud CS), será tratado como parte de la primera categoría y, al mismo tiempo, se actualiza el patrón para que pueda representar también a este nuevo miembro. Si, por el contrario, el nuevo vector de entrada no es similar al patrón, se convierte en el patrón de una

nueva categoría, caracterizada con la activación de la segunda neurona de la capa de salidas. Este proceso se repite para todos los vectores de entrada de forma que, al final del proceso, todos los vectores de entrada habrán sido clasificados como integrantes de alguna de las categorías encontradas.

El algoritmo de clasificación se puede resumir en los 8 pasos siguientes (Lippmann, 1987):

Paso 1. Inicialización de todos los pesos sinápticos y elección del coeficiente de similaridad CS:

$$\begin{aligned}
 b_{ij}(0) &= 1/(1+N) \\
 t_{ji}(0) &= 1 \\
 i &= 0, 1, \dots, (N-1) && \text{nodos de entrada} \\
 j &= 0, 1, \dots, (M-1) && \text{nodos de salida}
 \end{aligned}$$

Se selecciona un valor para CS, $0 \leq CS \leq 1$

Paso 2. Presentación a la red de un nuevo vector de entradas (i elementos 0/1).

Paso 3. Cálculo de la señal de activación, μ_j de cada neurona de la capa de salidas:

$$\mu_j = \sum_i b_{ij}(t)x_i \quad j = 0, 1, \dots, (M-1)$$

Paso 4. Seleccionar el mejor patrón (la neurona de mayor activación):

$$\mu_{\theta} = \max_j \{\mu_j\}$$

Se suprime la activación de las demás neuronas (inhibición lateral).

Paso 5. Test de similaridad con el patrón de la categoría seleccionada. Se calculan $\|X\|$ (número de "unos" en el vector de entradas) y $\|T \cdot X\|$ (número de "unos" que coinciden en el vector de entradas y el patrón de la categoría considerada).

$$\|X\| = \sum_i x_i \quad \|T \cdot X\| = \sum_i t_{\theta i} x_i$$

Si

$$\frac{\|T \cdot X\|}{\|X\|} > CS$$

ir al paso 7; en caso contrario ir al paso 6.

Paso 6. Inhabilitar temporalmente el patrón de la categoría escogida. De esta forma se vuelve al paso 3 para elegir otro patrón representativo de otra categoría.

Paso 7. Actualización del patrón de la categoría.

$$t_{0i}(t+1) = t_{0i}(t)x_i$$
$$b_{i0}(t+1) = \frac{t_{0i}(t)x_i}{0.5 + \sum_i t_{0i}(t)x_i}$$

Paso 8. Repetir: ir al paso 2, después de habilitar todos los patrones inhabilitados en el paso 6.

En el algoritmo, hemos supuesto que los vectores de entradas (filas de la matriz), se corresponden con las piezas que se deben fabricar y que las columnas de la matriz representan las máquinas o tipos de máquinas disponibles. En estas condiciones, el resultado que se obtiene son las agrupaciones piezas-máquinas, de forma que cada pieza a fabricar queda asignada únicamente a un grupo, y si la solución es perfecta, cada máquina o tipo de máquina, también queda asignada a un único grupo. Sin embargo, si la solución no es exacta, lo cual va a ocurrir en la mayoría de los casos y dependiendo del coeficiente de similaridad (CS) empleado, la solución implicará el desdoblamiento de alguna máquina de forma que pertenezca a más de un grupo, aunque siempre se tratará de que estos casos especiales no sean numerosos.

Utilizando este algoritmo, hemos abordado un primer caso, propuesto por Hamm, Hitomi y Yoshida (1985), en el que se parte de 8 piezas que se deben de realizar en 10 máquinas. Para la resolución del problema, hemos decidido colocar como filas de la matriz las máquinas y las piezas como columnas. Esto implica que existirán 10 vectores de entradas (cada uno de ellos representa una máquina), que estarán formados por 8 "unos" y "ceros" (que representan si por cada máquina pasa "1", o no pasa "0" la pieza correspondiente). En cuanto a la solución final, en lugar de duplicar máquinas en varios grupos, lo que va a ocurrir es que alguna pieza deberá pasar por más de un grupo. De todas formas, se intentará que ésto ocurra en las mínimas ocasiones. En la Tabla 2. aparece la matriz de datos de entrada. Utilizando la red neuronal construida en lenguaje "C", para la formación de los grupos, se obtienen los resultados reflejados en la Tabla 3. donde se pueden observar los tres grupos que resultan, cuando se aplica un coeficiente de similaridad CS=0,5. Debemos destacar que los resultados obtenidos son exactamente los mismos que los calculados por Hamm, Hitomi y Yoshida, utilizando el algoritmo de King (1980), incluso en lo que hace referencia a las dos piezas que pertenecen a dos grupos: la pieza P8 que pertenece al grupo I y al II, y la pieza P2 que pertenece a los grupos II y III.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento de la red neuronal como ayuda en la formación de los grupos, podemos abordar un caso más completo como es el problema propuesto por Carrie (1973), que parte de una matriz formada por 35 piezas o componentes y

20 máquinas. En la Tabla 4, aparece la matriz de entrada en la que los valores "1" representan el paso de la pieza por la máquina correspondiente, y los valores "0" indican que la pieza no pasa por la máquina, y en la Tabla 5, la solución a la que se ha llegado empleando la red neuronal construida y utilizando un coeficiente de similaridad $CS=0,8$. Se comprueba que se han formado cuatro grupos de cinco máquinas cada uno:

GRUPO I :	M1, M3, M7, M8, M17
GRUPO II :	M2, M4, M13, M14, M18
GRUPO III:	M5, M6, M9, M10, M20
GRUPO IV:	M11, M12, M15, M16, M19

Esta solución coincide con la calculada por Carrie (1973) después de numerosas y tediosas operaciones, incluso en las dos piezas que aparecen en más de un grupo, la pieza P23 que debe pasar por los grupos I y III, y la pieza P31 que pasará por los grupos I y II. Esta misma solución se consigue con valores del coeficiente de similaridad entre 0,3 y 0,8. Si se incrementa hasta 0,9 las máquinas aparecen excesivamente particionadas (aparecen ocho grupos, tres de ellos con una sola máquina), aunque como es lógico, la similaridad es mucho mayor, pero tiene el inconveniente de que 22 piezas deben pasar por más de un grupo.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha descrito la evolución temporal de la metodología de Tecnología de Grupos, así como una aplicación de la misma a una empresa de motocicletas. Además, se ha propuesto la utilización de Redes Neuronales Artificiales para resolver un problema muy importante de la TG, que es la búsqueda del número y composición óptimos de grupos o celdas máquina-trabajo, sobre todo en casos complejos, mejorándose los algoritmos utilizados hasta ahora. Precisamente, por la dificultad que tenía la resolución de este problema, es una de las causas por las que no se ha utilizado más la TG.

BIBLIOGRAFIA

- ARN, E.A. *Group technology: an integrated planning and implementation concept for small and medium batch production*. Springer-Verlag, New York 1975.
- BENEDITO SERRANO, A. Flexibilidad y tecnología de grupos, *Alta Dirección* nº 126. Marzo-abril 1986.
- BEN-ARIEH and TRIANTAPHYLLOU, E. Quantifying data for GT with weighted fuzzy features. *Int. J. Prod. Res.*, 1992, vol 30, (6), pp. 1285-1299.
- BURBRIDGE, J.L. Production flow analysis, *Production Engineer*, 42, 1963, p. 742.
- BURBIDGE, J.L. Production flow analysis for planning GT. *J. Oper. Man.*, vol 10, (1), 1991, pp. 5-27.
- BURBIDGE, J.L. Change to GT: process organization is obsolete. *Int. J. Prod. Res.*, vol 30, (5), 1992, pp. 1209-1219.
- CARRIE, A.S. Numerical taxonomy applied to group technology and plant layout, *International Journal of Production Research*, 11, 1993, p. 399.
- CARPENTER, G.A. and GROSSBERG, S. The ART of adaptative pattern recognition by a self-organizing neural network. *Computer*, 21 (3), 1988, pp 77-88.
- DEM YANYUK, S.S. *The technological principles of flow and automated production*. Pergamon Press, Oxford, 1963.
- FLANDERS, R.E. Design manufacture and Production control of a standard machine *Transactions of ASME*, 46, 1925, pp. 691-738.

- FLYNN, B.B. *Critical machines preventive maintenance policies for GT shops*.
- GALLAGHER, C.C. KNIGHT, W.A. *Group Technology*, Butterworth Groups, London, 1973.
- GLOBERSON, S. and MILLEN, R. *Determining learning curves in GT settings*.
- HAM, I., HITOMI, K. and YOSHIDA, T. *Group Technology: Applications to Production Management*. Kluwer-Nijhoff Publishing, 1985.
- HARHALAKIS, G., NAGI, R. and PROTH, J.M. An efficient heuristic in manufacturing cell formation for GT applications. *Int. J. Prod. Res.*
- HYER, N.L. and WEMMERLOV, U. GT in the US manufacturing industry: a survey of current practices. *Int. J. Prod. Res.*, vol 27, (8), 1989, pp. 1287-1304.
- IVANOV, E.K. (1968) *Group production, organization and technology* Business Publications.
- KAPARTHI, S. and SURESH, N.C. Machine-component cell formation in group technology: a neural network approach. *International Journal of Production Research*, Vol 30, (6), 1992, pp 1353-1367.
- KERN, C.M. and WEI, J.C. The cost of eliminating exceptional elements in GT cell formation. *Int. J. Prod. Res.*, vol 29, (8), 1991.
- KERR, J.C. Planning in a general engineering shop, *Journal Ins. Prod.* E. XVIII N° 1, 1939, pp 15-36.
- KING, J.R. Machine-component grouping in production flow analysis: an approach using a rank order clustering algorithm. *International Journal of Production Research*, 18 (2), 1980, pp. 213-232.
- KUSIAC, A. and CHO, M. *Similarity coefficient algorithms for solving the group technology problem*.
- LAPEDES, A. and FARBER, R. NonLinear signal processing using neural networks. *IEEE Conference on Neural Information Processing System - Natural and Synthetic*. 1987.
- LIPPMANN, R.P. An Introduction to Computing with Neural Nets. *IEEE ASSP Magazine*. April 1987, pp. 4-22.
- MITROFANOV, S.P. *The scientific principles of group technology* Leningrad 1959 translated by the National Lending Library, 1966.
- OPITZ, H., ROHS, H., STTUTTE, G. Statistical investigations on the utilisation of machine tools in one-off and mass production, *Aachen Technical University Research Report N° 831*, 1960.
- SASSANI, F. A simulation study on performance improvement of GT cells. *Int. J. Prod. Res.*
- SHIKO, G. A process planning-orientated approach to part family formation problem in group technology applications. *Int. J. Prod. Res.*, vol 30, (8), 1992, pp. 1739-1752.
- SNEAD, C.S. *Group technology: Foundation for competitive manufacturing*. Van Nostrand Reinhold, New York 1989.
- SURESH, N.C., KAPARTHI, S. Performance of Fuzzy ART neural network for group technology cell formation. *International Journal of Production Research*, Vol 32, (7), pp. 1693-1714.

TABLA 1

SISTEMA	ORGANIZACION Y PAIS
OPITZ	Aachen Tech. Univ. (W. Germany)
OPITZ's SHEET METAL	Aachen Tech. Univ. (W. Germany)
STUTTGART	Univ. of Stuttgart (W. Germany)
PITTLER	Pittler Mach. Tool Co. (W. Germany)
GILDEMEISTER	Gildemeister Co. (W. Germany)
ZAFO	(W. Germany)
SPIES	(W. Germany)
PUSCHMAN	(W. Germany)
DDR	DDR Standard (E. Germany)
WALTER	(E. Germany)
AUERSWALD	(E. Germany)
MITROFANOV	(USSR)
LITMO	Leningrad Inst. for Pre & Optics (USSR)
NIITMASH	(USSR)
VPTI	(USSR)
GUREVICH	(USSR)
VUOSO	Prague M/T Res. Inst. (Czechoslovakia)
VUSTE	Res. Inst. Eng. Tech. & Econ. (Czech.)
MALEK	(Czechoslovakia)
IAMA	IAMA (Yugoslavia)
PERA	Prod. Engr. Res. Assn. (U.K.)
SALFORD	(U.K.)
PGM	PGM, Ltd. (Sweden)
KC-1	(Japan)
KC-2	(Japan)
KK-1	(Japan)
KK-2	(Japan)
KK-3	(Japan)
SHEET METAL SYSTEM	(Japan)
CASTING SYSTEM	(Japan)
HITACHI	Hitachi Co. (Japan)
TOYODA	Toyoda Ltd. (Japan)
TOSHIBA	Toshiba Machine Co. (Japan)
BRISCH	Brisch-Birn, Inc. (U.K. and USA)
MICLASS	TNO (Holland and USA)
CODE	Mfg. Data Systems, Inc. (USA)
PARTS ANALOG	Lovelace, Lawrence & Co., Inc. (USA)
ALLIS CHALMERS	Allis Chalmers (USA)
SAGT	Purdue Univ. (USA)
BUCCS	Boeing Co. (USA)
ASSEMBLY PART CODE	Univ. of Massachusetts (USA)
HOLE CODE	Purdue Univ. (USA)
DTH/DCCLASS	Brigham Young Univ. (USA)
CINCLASS	Cincinnati Milacron Co. (USA)

TABLA 2

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
M1	1	0	1	0	0	1	0	1
M2	1	0	0	0	0	1	0	0
M3	0	1	0	0	1	0	0	1
M4	1	0	1	0	0	1	0	0
M5	0	0	0	1	0	0	1	0
M6	0	1	0	0	1	0	0	1
M7	0	0	0	0	1	0	0	1
M8	1	0	1	0	0	1	0	0
M9	0	0	0	1	0	0	1	0
M10	0	1	0	0	0	0	1	0

TABLA 3



	P1	P6	P3	P8	P5	P8	P2	P7	P4	P2
M1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
M4	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
M8	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
M2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
M3	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
M6	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
M7	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
M10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
M5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
M9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0

FIGURA 1

Nombre	tapón redondo
Material	acero fundido (AISI 1020)
Tratamiento	superficie endurecida por carbonizado
Operaciones	torneado interior/externo y taladrado del agujero

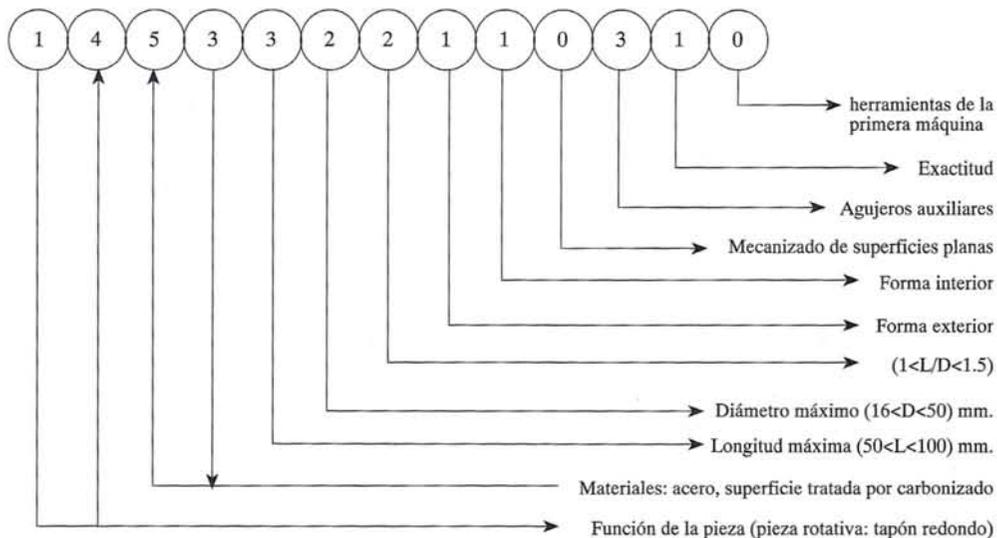
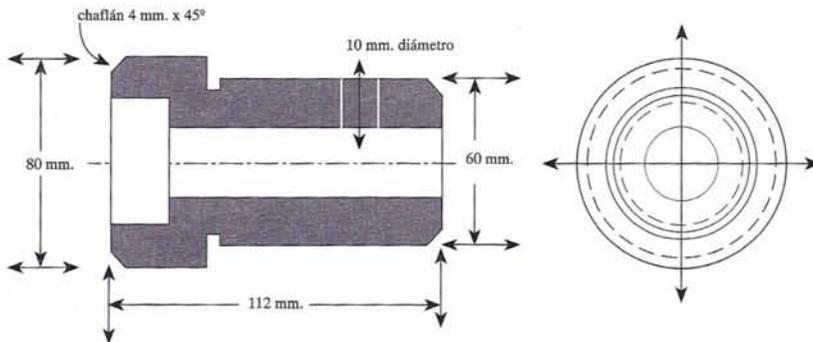


FIGURA 2

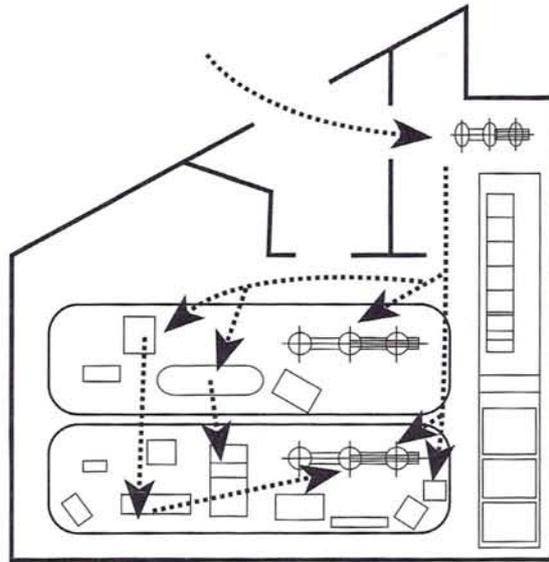


FIGURA 3

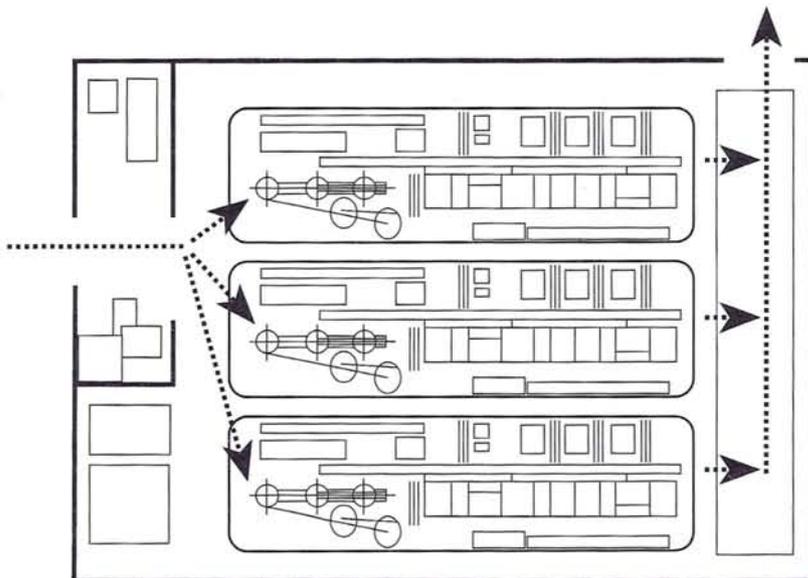


FIGURA 4

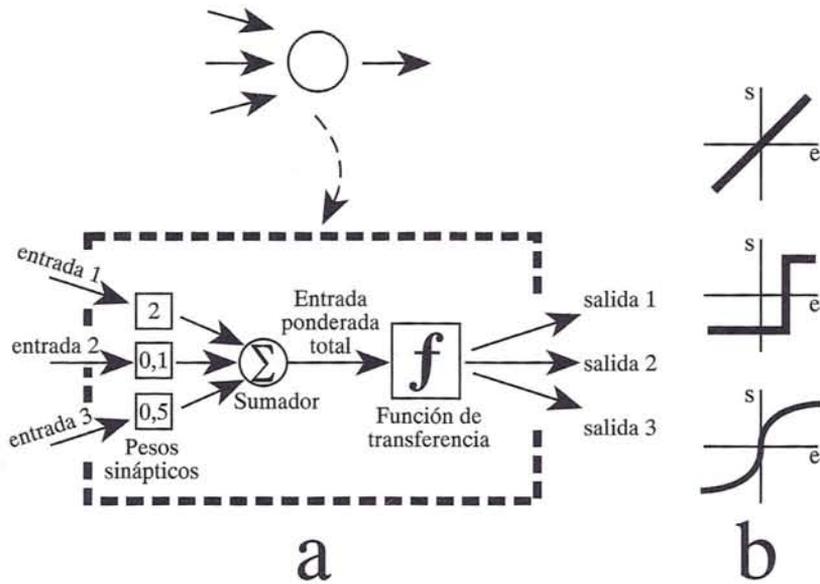


FIGURA 5

