

# Algunas Aplicaciones del Método Cluster a La Organización de La Producción en Talleres de Tratamiento Térmico

## Roberto Cespón Castro

Ing. Industrial. Profesor Asistente del Dpto. de Ing. Industrial de La Universidad Central de Las Villas.

## Gilberto Hernández Pérez

Dr. Ing. e Ing. Especialista en Proyección de Fábricas de Construcción de Maquinarias (T.U. "Otto von Guericke", Maagdeburg, R. F. A.). Profesor Titular y Jefe del Departamento de Ing. Industrial de la Universidad Central de Las Villas.

## Ramón Pons Murguía

Ing. Industrial. Profesor Auxiliar y Jefe del Grupo de Aseguramiento de la Calidad del Dpto. de Ing. Industrial de la Universidad Central de Las Villas.

Carretera a, Camajuaní km 5 1/2.

Santa Clara/Villa Clara.

República de Cuba., Código Postal: 54830.

Telf. 81272. Fax 53-422-81608.

**Palavras Chaves:** Análisis de Cluster, Tecnología de Grupo, Tratamiento Térmico, Células flexibles de fabricación, Organización de la Producción.

**Keywords:** Cluster Analysis, Group Technology, Heat Treatment, Flexible Manufacturing Cells, Production's organization.

## RESUMO

El trabajo expone algunas aplicaciones del método CLUSTER a la solución de problemas que se presentan en los talleres y secciones de tratamiento térmico, enfatizándose en las cuestiones relacionadas con el agrupamiento de piezas y la formación de células flexibles de fabricación, lo cual constituye la base para la introducción de todo un conjunto de técnicas y criterios de avanzada en la actividad productiva de estas instalaciones.

## ABSTRACT

This work deals with some applications of CLUSTER method for problem-solving in heat treatment workshops and sections. The main aspects related to parts grouping and manufacturing flexible cells building are explained, as a basis for implementing a set of tools and advanced criteria to manufacturing activities at these facilities.

## Introducción

El análisis de CLUSTER es una técnica estadística que trata de identificar grupos de objetos o casos similares, basados en las propiedades de sus atributos.

En los últimos años se han reportado múltiples aplicaciones de este método en la industria y los servicios en general. Particularmente en la industria mecánica este método ha sido utilizado con éxito, sobre todo, a partir de la segunda mitad de la década de los '80, para facilitar la solución de problemas de gran complejidad relacionados con el agrupamiento de piezas en talleres mecánicos con fines organizativos (Han & Ham 1985), así como en la formación de sectores productivos (Holst 1990; Chow & Kusiak 1988).

El presente trabajo aborda la problemática del agrupamiento de piezas con diferentes objetivos mediante el empleo del análisis de CLUSTER, mostrándose un procedimiento que abarca de forma integral todas las particularidades que éste posee en el caso específico de las instalaciones de tratamiento térmico, el cual se hace extensivo de la formación de células flexibles de fabricación con diferentes fines.

Todo ello se complementa, con algunas sugerencias sobre el apoyo computacional que precisa el empleo del análisis de CLUSTER como técnica estadística de avanzada, lo que lo convierte en una excelente herramienta que facilita en términos generales la labor de agrupamiento de objetos.

## Algunas Consideraciones Tecnológicas Previas de la Aplicación del Método Cluster a Los Procesos de Tratamiento Térmico

Al igual que en otros procedimientos estadísticos, en el análisis de CLUSTER se requiere tomar un conjunto de decisiones previas a la aplicación del método; entre las principales se encuentran: cuáles serán las variables que servirán de base para la aplicación de la técnica y cómo serán cuantificadas éstas?

Sin embargo, en el agrupamiento de piezas en talleres de tratamiento térmico deben observarse determinadas particularidades a la hora de responder estas interrogantes, tales como los criterios a considerar en la selección de las variables base y las posibilidades reales de su cuantificación.

En ese sentido, hay que tener presente que la formación de grupos de piezas en procesos de tratamiento térmico debe responder, por su orden, a criterios tecnológicos, constructivos y organizativos (Mitrofanov 1983; Eckstein 1977; Woithe 1980; Henning & Czichun 1985; Cespón Castro 1990). Si se tomara como criterio de clasificación el tipo de material, que en el caso específico de estos procesos condiciona el tipo de tratamiento térmico a aplicar para buscar un determinado efecto deseado es evidente que su cuantificación sería extremadamente difícil, y aún cuando ello pudiera lograrse a partir de algunas de sus propiedades, se correría el riesgo de cometer errores, si se considera que éstas pueden variar con el propio tratamiento térmico. Algo similar ocurriría con el proceso tecnológico, pues puede haber más de una variante para lograr el mismo resultado.

Es por ello, que previo a la aplicación del análisis de CLUSTER es necesario clasificar las piezas de tal forma, que el procedimiento le sea aplicado a grupos de piezas similares en cuanto al material y la tecnología. Una vez ejecutado este paso, la selección de las variables que serán utilizadas en el ejemplo son: masa y volumen de las piezas, así como duración del tratamiento térmico, todas referidas a una unidad de producción (Cespón Castro 1990).

## Método de los Cluster Aplicado al Agrupamiento de Piezas

Con el objetivo de simplificar la explicación del método aplicado al agrupamiento de piezas en talleres de tratamiento térmico, se utilizará un ejemplo con sólo 10 piezas, siendo los pasos de trabajo los siguientes:

### Planteamiento de la información inicial

Este paso tiene como objetivo disponer de una adecuada organización de los datos de partida y no necesariamente su ejecución responde a un formato único. Para el caso que nos ocupa consiste en confeccionar una matriz, donde las filas representan las piezas que serán agrupadas, mientras que las columnas constituyen las variables, atendiendo a las cueles se realizará el procesamiento estadístico y que fueron mencionadas anteriormente. En el ejemplo, sería una matriz de orden: 10 x 3, que coincide con las columnas 3 a la 5 de la tabla 1.

### Estandarización de los datos de partida

Este paso de trabajo resulta imprescindible cuando se utiliza el análisis CLUSTER en el agrupamiento de piezas, no siendo así en otras aplicaciones del método. Esto se fundamenta en el hecho, de que el procedimiento va conformando los grupos atendiendo a las semejanzas integrales entre los casos, sin dar prioridad a ninguna de las variables consideradas, utilizándose como regla para ello, el concepto de distancia cua-

drática de Euclides.

Las distancia cuadrática de Euclides posee particularidades que pueden constituirse en desventajas para su aplicación, si no se toman las medidas correctivas pertinentes. Tales son los casos de la dependencia de esta medida de distancia de las unidades y escala de magnitudes en que se expresan las variables.

Esta situación implica que, específicamente en la formación de grupos de piezas, sea recomendable expresar las variables en forma estandarizada (columnas 6 a la 8 la tabla 1), para lo cual se aplica la expresión (1):

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_j}{\sigma_j} \quad (1)$$

donde:

$Z_{ij}$  : valor estandarizado de la variable "j" en la pieza "i";

$X_{ij}$  : valor real de la variable "j" en la pieza "i";

No.	DENOMINACIÓN DE LAS PIEZAS	VALORES REALES			VALORES ESTANDARIZADOS		
		MASA (Kg/ Pieza)	GASTO DE TIEMPO (h/ Pieza)	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> / Pieza)	MASA	GASTO DE TIEMPO	VOLUMEN
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ÁRBOL	6,80	0,78	210	2,41	-1,86	0,88
2	MANDRIL	0,42	1,80	82	-0,71	-0,48	-0,81
3	CUCHILLA C.A.	2,20	2,80	282	0,15	0,70	0,96
4	PIÑÓN 1	2,70	1,10	149	0,40	-1,14	-0,09
5	PASADOR	0,50	3,00	62	-0,77	1,38	-0,73
6	CUCHILLA RTP	3,30	2,80	463	0,69	0,70	2,23
7	LATERAL 1	0,88	1,80	106	-0,88	-0,48	-0,41
8	LATERAL 2	1,80	1,80	143	-0,18	-0,48	-0,13
9	SUJE	0,17	3,00	18	-0,84	1,38	-1,06
10	PIÑÓN 2	0,78	2,00	121	-0,88	0,04	-0,30

Tabla 1: Valores reales y estandarizados de las variables para las piezas utilizadas en el ejemplo.

$X_j$  : valor promedio de la variable "j" para el total de piezas

$\sigma_j$  : desviación estándar de la variable "j".

**Determinación de la medida "distancia" entre piezas**

Aunque existen en la literatura especializada varios métodos para calcular la distancia entre objetos, en general son clasificados en distancias métricas y distancias binarias (Holst 1990), el procedimiento de Euclides resulta ser el que más comúnmente se emplea y ofrece buenos resultados en el caso del agrupamiento de piezas. Este se aplica, a partir de los valores estandarizados de las variables, calculando la distancia entre pares de objetos. En el ejemplo se parte de determinar la distancia entre la segunda y primera pieza, luego, la tercera con la primera y la tercera con la segunda y así sucesivamente. Como la distancia entre todo par es simétrica, en la figura 1 se muestra solo la parte inferior de la matriz con estos resultados.

El primer valor que aparece en la matriz de la figura 1 es la distancia cuadrática entre las piezas 1 y 2, que se determina a partir de los valores estandarizados aplicando la expresión (2):

$$D_{(i-ic)}^2 = \sum_{j=1}^n (X_{ij} - X_{ic,j})^2 \quad (2)$$

donde:

$D_{(i-ic)}$ : distancia cuadrática de Euclides entre la pieza "i" y la pieza anterior que conforma el par "ic";

n : cantidad de variables atendiendo a las cuales, se calcula la "distancia";

$X_{ij}$  : valor real de la variable "j" en la pieza "i";

$X_{ic,j}$  : valor real de la variable "j" en la pieza anterior que conforma el par "ic".

**Formación de los Cluster**

Realmente existen muchas alternativas para la formación de CLUSTER, pero la que más se corresponde con la problemática del agrupamiento de piezas, es la denominada Grupo Jerárquico de Aglomeración. En esta variante, se parte de la existencia de tantos CLUSTER como casos (piezas) existan, realizando el agrupamiento "paso a paso" hasta que todos formen parte de un CLUSTER único.

		PIEZAS								
PIEZAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	X									
2	18,84	X								
3	10,88	8,88	X							
4	4,41	2,18	4,88	X						
5	18,74	3,88	4,12	7,87	X					
6	11,6	18,8	8,88	2,88	11,8	X				
7	10,88	0,17	3,88	1,84	2,48	8,87	X			
8	8,10	0,74	2,88	0,77	8,17	7,71	0,88	X		
9	21,01	3,48	8,48	8,87	0,11	18,88	3,88	4,84	X	
10	11,82	0,88	2,81	2,88	1,88	8,87	0,88	0,48	8,87	X

Figura 1: Parte inferior de la matriz simétrica de distancia entre piezas.

A partir de esto, se puede tomar como decisión; tratar cada elemento por separado, combinarlos todos en un mismo grupo e adoptar una variante intermedia, que es en definitiva la solución que se presenta con más frecuencia en el agrupamiento de piezas en estos talleres.

Otro aspecto importante que no debe pasarse por alto, es que una vez combinadas dos o más piezas (CLUSTER múltiple), éstas no pueden separarse, por lo que siempre formarán parte del mismo grupo.

Con el objetivo de facilitar la aplicación de este procedimiento, en la práctica resulta conveniente visualizar la solución de agrupamiento obtenida mediante la elaboración de los denominados **gráficos de chorreras** (figura 2) o mediante dendogramas (figura 3).

**Determinación de la cantidad de grupos de piezas**

Los valores de distancia mostrados en la matriz de la figura 1, son un indicador de la similitud o diferencia entre las piezas, lo que significa que, cuando entre un nivel y otro

del paso anterior se produzca un incremento brusco de la distancia, ello es señal de que se han combinado grupos diferentes.

Los valores de distancia resultantes de cada una de las iteraciones en el ejemplo que se viene analizando, aparecen en la columna del extremo derecho de la figura 2. En éstos puede observarse que se manifiesta un incremento brusco entre los niveles 7 y 8, por lo que lá decisión debe ser la de formar 4 grupos, donde las piezas incluidas en cada uno de ellos pueden encontrarse en el extremo superior de la propia figura, codificadas según la muneración que se le asignó para el ejemplo en la tabla 1.

Sin embargo, esto no significa que el resultado de la figura 2 constituye invariablemente la solución final, pues puede ocurrir que una pieza desde el punto de vista del método, quede incluida en un grupo que no se corresponda totalmente con lo deseado de acuerdo con criterios prácticos. Por ello, se recomienda siempre someter los resultados del método a un análisis crítico desde puntos de vista técnico-tecnológicos, lo cual excluye que el procedimiento CLUSTER constituya una excelente herramienta a emplear en el agrupamiento de piezas.

N I V E L	PIEZAS														D I S T A N C I A					
	1	6	7	2	10	4	5	9	3	8										
10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	4,41
9	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2,81
8	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	1,84
7	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	0,80
6	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x		x	0,77
5	x		x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x		x		x	0,88
4	x		x	x	x	x	x		x		x		x	x	x		x		x	0,88
3	x		x		x	x	x		x		x		x	x	x		x		x	0,17
2	x		x		x		x		x		x		x	x	x		x		x	0,11
1	x		x		x		x		x		x		x		x		x		x	0,0

Figura 2: Representación de la formación de CLUSTER en el agrupamiento de piezas a tratar térmicamente mediante un gráfico de Chorreras.

## Otras Aplicaciones del Análisis de Cluster

Aunque de hecho, la formación de grupos de piezas constituye una de las principales aplicaciones del análisis de CLUSTER en las instalaciones productivas de tratamiento térmico, existen otras no menos importantes que también pueden resultar de interés. Estas son: la formación de estructuras de producción progresivas, como es el caso de las denominadas células flexibles de fabricación, la clasificación de las herramientas atendiendo a su frecuencia de uso u otra variable que se desee optimizar, la clasificación de los equipos atendiendo a la función tecnológica que realizan, y otras.

Dado el auge que ha alcanzado en los últimos tiempos el empleo de las células flexibles de fabricación y las particularidades que presenta su formación cuando se utiliza el método de los CLUSTER, a continuación se profundizará en este aspecto. Para ello se partirá, de que se cuenta con una instalación de tratamiento térmico donde los equipos están agrupados según su función tecnológica (por proceso) y se desea conformarlo en células de fabricación, con el objetivo de lograr una reducción en el ciclo de produc-

ción, un efecto similar en los niveles de inventario y una simplificación del flujo de materiales. La solución al problema planteado, implica una redistribución del equipamiento que permita agruparlo atendiendo e los tipos de piezas que procesan.

En principio, el conjunto de pasos de trabajo descritos para aplicar el análisis de CLUSTER a la formación de grupos de piezas, es válido también para dar solución a la nueva problemática, por lo que se precisará solo en aquellos aspectos que constituyan adecuaciones importantes.

### Planteamiento de la información inicial

En este caso, los objetos que serán agrupados son los equipos, mientras que las variables a tener en cuenta serían las piezas que estos procesan. Sin embargo, solo resulta de interés el hecho de que dicho equipo procese o no cierta pieza lo que permite hacer uso del sistema binario. Un ejemplo de esta situación se muestra en la tabla 2, que de hecho constituye una matriz de ocho equipos y diez piezas (8 x 10), donde el valor uno implica la existencia de alguna forma de tratamiento térmico.

EQUIPOS	TIPOS DE PIEZA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		1	1			1			1	1
2	1				1		1	1		
3		1	1							1
4		1	1			1			1	1
5	1			1	1		1	1		
6				1	1		1	1		
7					1		1	1		
8	1			1	1		1	1		

Tabla 2: Relación de piezas y equipos en que éstas se procesan.

Por otra parte, en este caso particular como se deduce, no es necesario realizar la estandarización de los datos de partida (paso 2), por ser éstos de la misma naturaleza.

### Determinación de la medida de distancia entre equipos

Resulta evidente, que atendiendo a la naturaleza de los datos de partida, la medida de distancia a emplear para formar los grupos de equipos debe ser diferente a la utilizada en el agrupamiento de piezas. En ese sentido, aunque en la literatura se ofrecen diferentes recomendaciones, la experiencia ha demostrado que la más adecuada es la de Rogers - Tanimoto (Holst 1990), basada en el empleo de la siguiente expresión:

$$D_{(i-ic)} = 1 = \frac{a + d}{(a + d) + 2(b + c)} \quad (3)$$

donde:

$D_{(i-ic)}$  : medida de distancia entre el equipo "i" y el equipo anterior que conforma el par (ic). Debe cumplirse que:  $0 \leq D_{(i-ic)} \leq 1$ ;

a : cantidad de piezas que son procesadas en los dos equipos analizados;

d : cantidad de piezas que no son procesadas en ninguno de los equipos analizados;

b : cantidad de piezas procesadas en el equipo "i" pero que no lo son en el equipo "ic";

c : cantidad de piezas que no son procesadas en el equipo "i" y si en el equipo "ic".

### Formación de los Cluster

Este paso de trabajo, también es coincidente con el descrito anteriormente para la formación de grupos de piezas, donde lógicamente se precisan de los resultados de la etapa anterior. Sin embargo, para su representación se ha preferido utilizar el dendograma (figura 3), en lugar del gráfico de chorreras.

### Determinación de la cantidad de grupos de equipos

La decisión sobre la cantidad de grupos de equipos, también se toma sobre la base del análisis del incremento de las distancias. Para ello, se puede partir del dendograma representado en la figura 3, donde se evi-

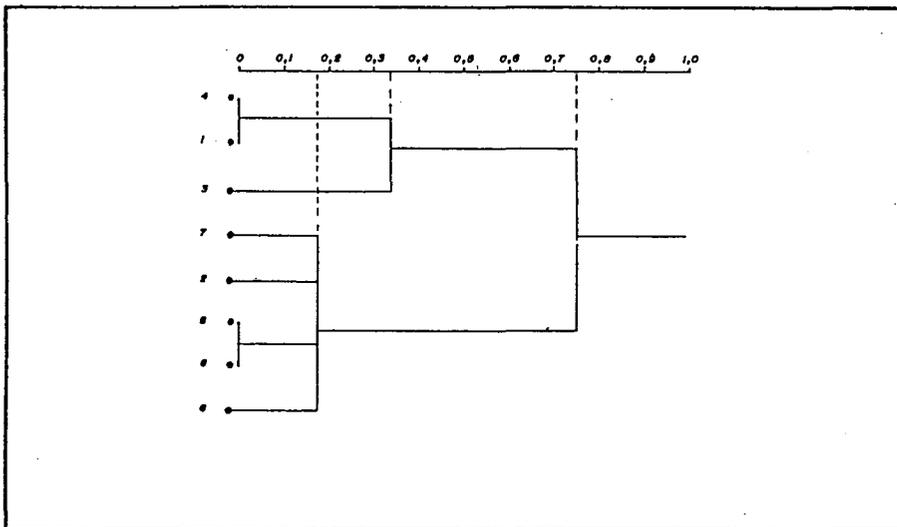


Figura 3. Representación de la formación de CLUSTER mediante um Dendograma.

dencia que al tratar de formarse un solo grupo de equipos, el incremento de la distancia alcanza su máximo valor, lo que permite concluir que lo más recomendable es decidir la formación de dos grupos: el primero con los equipos 4,1 y 3, y el segundo con el 7, 2, 5, 8 y 6.

Es conveniente agregar, que el ejemplo de la figura 3, constituye una simplificación de una situación real, la cual al ser sometida a un análisis crítico dió como resultado que la decisión tomada también estaba fundamentada desde el punto de vista técnico.

Con esto, en térmicos generales, culmina la aplicación del análisis CLUSTER a la formación de grupos de piezas y equipos. Sin embargo, es obvio que algunos pasos de trabajo, como el cálculo de la matriz de distancias, resultan demasiado engorrosos para ser ejecutados de forma manual, lo que hace indispensable el empleo de la computación, sobre todo cuando es amplia la nomenclatura de "objetos" que serán agrupados.

En este sentido, se han desarrollado en el mundo algunos sistemas dirigidos a la automatización de este procedimiento siendo uno de los más completos el paquete estadístico SPSS, el cual incluye la tabla y los gráficos de las figuras antes explicadas, aportando además otras salidas y posibilidades que serán de fácil interpretación.

## Conclusiones

En la actualidad se precisa la búsqueda de técnicas y procedimientos matemáticos que apoyen y faciliten la compleja labor del agrupamiento de piezas por la importancia que éste posee en una gran cantidad de aplicaciones, entre las que se destacan; la realización de la programación y el control de la producción a partir de artículos o piezas representativas, la elaboración de tecnologías de grupo y la simplificación de cálculos en el diseño de sistemas productivos entre otras.

El método de los CLUSTER, brinda un apoyo efectivo a la formación de grupos de piezas y equipos tecnológicos en talleres de tratamiento térmico a partir de un conjunto de variables previamente definidas y estandarizadas, sobre la base de un determinado criterio de distancia entre objetos decidi-

do "a priori", lo que permite la obtención de combinaciones integralmente homogéneas que constituyen una base racional para la realización del ineludible análisis casuístico para la toma de la decisión final.

La medida de **distancia entre objetos** a seleccionar para la aplicación del método CLUSTER puede variar en función del objetivo que se persigue. Así, la distancia cuadrática de Euclides, considerada como una **medida de distancia métrica**, resultó la más apropiada para el agrupamiento de piezas en los talleres de tratamiento térmico. Sin embargo, para el agrupamiento racional del equipamiento como base para la formación de estructuras productivas de carácter progresivo (células flexibles, sistemas flexibles de fabricación), el empleo de medidas de **distancia binarias** (por ejemplo la de Rogers Tanimoto), resultó la más adecuada.

El apoyo computacional que brinda el paquete estadístico SPSS/PC en la aplicación del método de los CLUSTER, permite obtener resultados rápidos y confiables, con una gran variedad de salidas que facilitan la manipulación e interpretación de las soluciones, aunque han sido desarrollados en el mundo otros sistemas que también pueden ser empleados.

Los resultados de esta investigación se han incorporado al Sistema de Proyección de Talleres de Tratamiento Térmico con Apoyo Computacional que se desarrolló por los autores en la Universidad Central de Las Villas, República de Cuba y que se encuentra a disposición de los interesados.

## Referências Bibliograficas

CESPÓN CASTOR, R.. Criterios para la formación de grupos de piezas en talleres de tratamiento térmico. Informe parcial de investigación. Dpto. Ing. Industrial. Universidad Central de Las Villas, República de Cuba (documento no publicado), 1990.

COCHRAN, W. G. Sampling Techniques. Wiley International Edition, Massachusetts, 1962.

CHOW, S. W. KUSIAK, A. Cluster analysis for Group Technology. Industrial Engineering. Vol 20, Nr. 4, 1988.

ECKSTEIN, H. J. Technologie der Wärmebehandlung von Stahl. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1977.

HAN, C. P. & HAM, I. Multi-Objective Cluster analysis for part family formation. Research Report. Pennsylvania State University, 1985.

HENNING, D. & CZICHUN, F. Projektierung spezieller Hauptabteilungen des Maschinenbaubetriebes. Lehrbrief 5: Projektierung von Wärmebehandlungsabteilungen, T. H. "Otto von Guericke", Magdeburg, 1985.

HOLST, U. Bedeutung des Ähnlichkeitsprinzips für das Rationalisierungsmittelpotential von flexiblen Fertigungen. Fertigungstechnik und Betrieb, Berlin. Jg. 40. Heft 10. pp. 617-621, 1990.

Manual de usuarios del paquete estadístico SPSS/PC. Edición Interna del Instituto de Informática de la Universidad Central de Las Villas, República de Cuba.

MITROFANOV, S. P. La tecnología de grupo en la producción de construcción de maquinarias. Editorial Moscú, (en ruso), 1983.

WOITHE, G. Projektierung von Betriebsanlagen des Maschinenbaubetriebes. Lehrbrief 2 (1. veränderte Ausgabe): Funktionbestimmung and Arbeitszeitaufwand. T. H. "Otto von Guericke", Magdeburg, 1980.