

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales

División de estudios de Posgrado



COMIMSA



**Sistema Inteligente Híbrido para la Formación de Celdas de
Manufactura**

Tesis

Que para Obtener el grado Académico de

**Doctor en Ciencia y Tecnología con Especialidad de
Ingeniería Industrial y Manufactura**

Presenta

M.C. Elias Gabriel Carrum Siller

Saltillo Coahuila, México a 20 de Diciembre de 2011

**Sistema Inteligente Híbrido para la Formación de Celdas de
Manufactura**

Por

M.C. Elias Gabriel Carrum Siller

Tesis

Presentada al Programa Interinstitucional en Ciencia y Tecnología

Sede

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V.

Como requisito para obtener el Grado Académico de

Doctor en Ciencia y Tecnología

Especialidad en Ingeniería Industrial y de Manufactura

Programa Interinstitucional en Ciencia y Tecnología COMIMSA/CONACYT

Saltillo Coahuila México a 20 de diciembre de 2011

Sistema Inteligente Híbrido para la Formación de Celdas de Manufactura

Por

M.C. Elias Gabriel Carrum Siller

Comité revisor

Tutor Académico: Dr. Luis Martín Torres Treviño
Centro de Innovación, Investigación y Desarrollo
en Ingeniería y Tecnología

Revisor No. 1: Dr. Ismael López Juárez
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

Revisor No. 2: Dr. Gerardo Maximiliano Méndez
Corporación Mexicana de Investigación en Materiales

Revisor No. 2: Dr. Julio César Morales Chavela
Ternium, México

Revisor No. 3: Dr. Fernando Hernández Rosales
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial

Tutor de Planta: M.C. Claudia A. González Rodríguez
Corporación Mexicana de Investigación en Materiales

Saltillo Coahuila México a 20 de diciembre de 2011

Dedicatorias

A mis padres Jesús Gabriel Carrum Gallardo y Blasa Siller Domínguez por su apoyo incondicional y por ser mi motivación y mi ejemplo a seguir.

A mi tutor académico Dr. Luis Martín Torres Treviño por compartir su conocimiento y apoyarme en el transcurso de esta investigación.

A los académicos que contribuyeron directamente e indirectamente en mi formación por todo su conocimiento compartido, Dr. Luis Torres Treviño, Dr. Pedro Pérez Villanueva, Dr. Mario Cantú Sifuentes, Dr. Gastón Cedillo Campos y demás catedráticos que tuve el honor de conocer.

A la coordinación del posgrado de COMIMSA por el apoyo brindado durante mis estudios.

A todos mis compañeros y amigos que conocí durante este tiempo.

Al jurado Dr. Ismael López Juárez, Dr. Gerardo Maximiliano Méndez, Dr. Julio César Morales Chávela, Dr. Fernando Hernández Rosales y al Dr. Luis Torres Treviño por sus excelentes comentarios y recomendaciones que hicieron posible mejorar este trabajo de investigación.

Al personal administrativo del posgrado de COMIMSA que día a día hacen posible el desempeño del mismo.

Tabla de Contenido

Tabla de Contenido	i
Tabla de Figuras	v
Tabla de Matrices	vii
Resumen	viii
Introducción.....	1
1.1 Grupos tecnológicos	1
Planteamiento del Problema.....	6
2.1 Descripción del Problema.....	6
2.2 Objetivos.....	7
2.3 Hipótesis	8
2.4 Impactos esperados.....	8
2.4.1 Impacto Económico	8
2.4.2 Impacto Social	8
2.4.3 Impacto Científico	9
Estado del Arte	10

3.1 Clasificación y formación de clúster	11
3.2 Formulación matricial.	13
3.2.1 Coeficientes similares.....	15
3.2.2 Algoritmos Ranking Order Clustering	17
3.3 Formulación matemática	18
3.3.1 P- median model.....	19
3.3.2 Generalized p-median model.....	20
3.4 Teoría de Resonancia Adaptable	20
3.4.1 ART1 de Kusiak.....	22
3.4.2 ART1 de Yang (2007).....	23
3.5 Taguchi	24
3.6 Algoritmos genéticos simples.....	25
3.7 Algoritmos genéticos multi-objetivo	26
3.8 Criterios de eficiencia.....	27
3.8.1 Block diagonalized	27
3.8.2 Distancia Hamming	28
3.8.3 Distancia Mitowski.....	29

3.8.4 Distancia Mitowski Euclidiana.....	29
3.8.5 Bond Energy	29
a = matriz de máquinas y procesos	29
3.8.6 Criterio de Eficacia.....	30
3.8.7 Distancia a la Diagonal Principal	30
Metodología.....	31
Experimentación.....	39
5.1 Experimentación de la metodología	39
5.1.1 Matriz 4 x 5	39
5.1.2 Ejemplo 6 x 11.....	42
5.1.3 Ejemplo 15x15.....	45
5.1.4 Ejemplo 35x20.....	47
5.1.5 Ejemplo 40x100.....	50
5.2 Red Neuronal ART-1 Modificada	52
5.3 Experimentación del simulador	55
5.3.1 Experimentación distancias por casillas	55
5.3.2 Experimentación de distancias aleatorias	78

Conclusiones.....	88
Técnica Hamming.....	89
Red Neuronal ART Modificada	89
Simulador	90
NSGA II Híbrido	90
Trabajo futuro	93
Referencias	94
Anexos.....	99
Anexo A Solicitud de patente de sistema híbrido	99
Anexo B Aprobación de examen de forma de patente	100
Anexo C Solicitud de derechos de autor de software CellSimulator	101

Tabla de Figuras

Figura 1 Layout y diagrama de flujo del proceso.....	4
Figura 2 Diagrama de flujo de matriz parcialmente separables	5
Figura 3 Esquema del criterio de visualización.....	12
Figura 4 Gráfica de similitud entre operaciones.....	16
Figura 5 Red tipo ART.....	21
Figura 6 Metodología propuesta.....	32
Figura 7 Red Neuronal ART1 Modificada.....	34
Figura 8 Diagrama general del NSGA II.....	35
Figura 9 Diagrama del simulador de GT.....	36
Figura 10 Resultados de piezas finales original	40
Figura 11 Resultados de piezas finales ART modificado.....	40
Figura 12 Resultados de piezas finales NSGA II.....	41
Figura 13 Resultados de piezas finales NSGA II Híbrido.....	41
Figura 14 Aproximación al Frente de Pareto	41
Figura 15 Comportamiento final original.....	43
Figura 16 Resultados de piezas finales ART modificado.....	43
Figura 17 Resultados de piezas finales NSGA II.....	43
Figura 18 Resultados de piezas finales NSGA II Híbrido.....	44
Figura 19 Aproximación al Frente de Pareto	44
Figura 20 Comportamiento final original.....	45
Figura 21 Resultados de piezas finales ART modificado.....	46
Figura 22 Resultados de piezas finales NSGA II.....	46
Figura 23 Resultados de piezas finales NSGA II Híbrido.....	46
Figura 24 Comportamiento final original.....	49
Figura 25 Resultados de piezas finales ART modificado.....	49
Figura 26 Resultados de piezas finales NSGA II.....	49
Figura 27 Resultados de piezas finales NSGA II Híbrido.....	50
Figura 28 Comportamiento final original.....	51
Figura 29 Resultados de piezas finales ART modificado.....	51
Figura 30 Resultados de piezas finales NSGA II.....	52
Figura 31 Resultados de piezas finales NSGA II Híbrido.....	52
Figura 32 Comportamiento medio del inventario final.....	57
Figura 33 Comportamiento de piezas finales con grupos tecnológicos	59
Figura 34 Inventario final sin grupos	61
Figura 35 Piezas producidas	63
Figura 36 Piezas finales sin grupos	65
Figura 37 Piezas producidas	66
Figura 38 Inventario final.....	69
Figura 39 Piezas finales con grupos	71
Figura 40 Producción final matriz sin grupos 40 x 100	74
Figura 41 Producción final en matriz con grupos tecnológicos	75
Figura 42 Piezas finales.....	79
Figura 43 Piezas finales.....	80
Figura 44 Piezas finales.....	81

Figura 45 Piezas finales	82
Figura 46 Piezas finales	83
Figura 47 Piezas finales	84
Figura 48 Piezas finales	86
Figura 49 Piezas finales	87

Tabla de Matrices

Matriz 1 Formación de Grupos tecnológicos	4
Matriz 2 Matriz parcialmente separable	5
Matriz 3 Matriz de grupos mutuamente separable	14
Matriz 4 Matriz de grupos parcialmente separables.....	14
Matriz 5 Matriz de distancia.....	39
Matriz 6 Matriz inicial.....	42
Matriz 7 Distancia entre máquinas	45
Matriz 8 Distancia entre máquinas	48
Matriz 9 Ejemplo de toma de distancia	56
Matriz 10 Matriz inicial.....	57
Matriz 11 Matriz original	61
Matriz 12 Matriz con grupos tecnológicos.....	63
Matriz 13 Matriz sin grupos	64
Matriz 14 Matriz con grupos	67
Matriz 15 Matriz inicial 35 x 20.....	69
Matriz 16 Matriz con grupos tecnológicos.....	72
Matriz 17 Matriz inicial 40 x 100.....	76
Matriz 18 Matriz 40 x 100 con grupos tecnológicos.....	77
Matriz 19 Matriz de distancia.....	79
Matriz 20 Distancia de desplazamiento.....	80
Matriz 21 Tiempos de desplazamiento.....	82
Matriz 22 Matriz de distancias	85

Resumen

Durante muchos años las líneas de producción eran lo ideal para una producción balanceada y continúa, sin embargo, durante los últimos años siendo que cada vez las industrias tratan de permanecer de forma competitiva diversificando sus productos las líneas de producción como se tenían establecidas quedan de forma obsoleta dando como resultado el no poder ingresar a un mercado más competitivo, siendo esto una preocupación para las empresas surge una nueva manera de configurar equipos y procesos para poder optimizar el flujo y así mismo poder diversificar la producción conocida como celdas de manufactura.

El trabajo presente proporciona un método para generar una distribución óptima de las máquinas y los procesos basadas en la formación de celdas de manufactura, esto se logra a través de un sistema híbrido inteligente donde primero se genera un grupo inicial de diseños de planta por medio de una red neuronal artificial del tipo ART1 (Adaptive Resonance Theory 1) la cual se le realizaron algunas modificaciones para la extracción de diseños más rápidos y sin parámetro de vigilancia, después de esta generación inicial de diseños se mezclan con diseños creados aleatoriamente, y usando un algoritmo de múltiples objetivos conocido como NSGA II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) el cual realiza una evaluación de los diseños de celdas de manufactura mediante un simulador dando como resultado el inventario final de dicha celda, el inventario en procesos y el tiempo de traslado de material entre la celda o celdas, usando el algoritmo NSGA II se considera una pluralidad de prioridades como lo son el maximizar el inventario final o producción final, minimizar el inventario en proceso y minimizar el tiempo de traslado, se seleccionan algunos de los diseños de acuerdo a su clasificación y se repite el ciclo. Una vez encontrado el diseño óptimo para el usuario el cual cumple con la pluralidad de condiciones, prioridades y restricciones se muestra el diseño final dando como resultado el orden de la maquinaria y las operaciones.

Capítulo 1

Introducción

En México existen diferentes tipos de industrias, entre éstas: la automotriz, farmacéutica, del papel, alimentos, plásticos y textil. Cabe destacar que durante los últimos años, la industria manufacturera se ha caracterizado por su crecimiento acelerado. Prueba de esto son los datos siguientes, proporcionados por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (INEGI, 2010), en el año 2010 el Producto Interno Bruto generado por la industria creció un 6 por ciento. Dentro de los subsectores de las industrias manufactureras crecieron las industrias de fabricación de equipo de transporte, las de fabricación de maquinaria y equipos, la fabricación alimenticia, la fabricación de productos metálicos, la fabricación de productos a partir de minerales no metálicos así como la industria de metales básicos. (El Universal 2011).

Sin embargo, las pequeñas fábricas o talleres carecen de infraestructura y soporte técnico que les permita seguir éste ritmo de crecimiento. Como consecuencia, muchas de ellas optan por retirarse del mercado. Para este sector se enfoca el trabajo presente; aunque los resultados que se obtienen son de aplicación general.

1.1 Grupos tecnológicos

Una de las filosofías más utilizadas en la manufactura es la de Grupos tecnológicos (GT). Ésta consiste en identificar y agrupar familias de máquinas o partes del producto a partir de ciertas similitudes. Cada familia posee una similitud ya sea en la máquina de

procesamiento o bien en el diseño del producto (Groover, 2001). Así, la expresión de grupos tecnológicos se emplea en relación con el ordenamiento físico, la disposición y la localización de las máquinas en una planta.

Cuando una fábrica está organizada por departamentos funcionales, la empresa siempre termina produciendo artículos por lotes (Groover, 2001). La operación 1 suele completarse para todo el lote antes de que éste pase a la operación 2. Cuando se trabaja de esta forma, se generan diversos problemas; entre ellos, se aumenta el tiempo de ciclo, y se generan inventarios en procesos. Por lo que bajo este esquema de producción es necesario que la fábrica se organice físicamente. Un enfoque es organizar la producción no por funciones sino por productos. La maquinaria se debe dedicar total o parcialmente a una familia de productos y se debe disponer el orden en que van a efectuarse las operaciones para esa familia de productos. A este enfoque se le conoce como Grupos Tecnológicos (GT). A partir de la segunda mitad del siglo pasado, se han venido usando varias técnicas para implementar esta filosofía; entre ellas la clasificación y codificación, análisis de producción, coeficientes similares, programación matemática, y redes neuronales (Chwea-Tzeag Su, et al. 1995).

Como datos históricos, en 1925 R. Flanders (Groover, 2001) presentó una publicación en la que describe la *organización de manufactura* en una empresa estadounidense llamada Jones and Lamson Machine Company. Esta *organización de manufactura* evolucionó hasta convertirse en lo que ahora se conoce como Grupos Tecnológicos. En 1949, A. Korling (Groover, 2001). Propone la creación de *categorías* en la línea de producción. Esto es: separar los recursos de producción (hombres y máquinas) conforme al bien que producen. En 1959 el investigador S. Mitrofanov de la ex -Unión Soviética publicó el libro “Scientific Principles of Group Technology” en el cual se propone por primera vez la filosofía de los grupos tecnológicos tal como se conoce actualmente. Para fines de 1965 más de 800 plantas en la Unión Soviética implementarían esta filosofía. La primera aplicación de grupos tecnológicos en Estados Unidos fue hecha en 1969 en una planta llamada Langston Division of Harris-intertype ubicada en New Jersey (Groover, 2001). Desde estos años muchas de las compañías que han implementado

esta filosofía han reportado beneficios importantes (Wenmerlov et al. 1989) (Kusiak et al. 1998), entre ellos:

- Reducción del tiempo de arranque.
- Reducción de material en proceso.
- Minimiza el costo de transporte de material.
- Beneficios en calidad.
- Reducción de almacenamiento.
- Beneficios en la utilización de maquinaria.
- Aumento de espacio.
- Beneficios en los empleados.
- Reducción de trabajo en el proceso.
- Reducción de trabajo del personal de confianza.
- Reducción de herramientas.
- Reducción de re trabajo y fallas en proceso.
- Reducción en tiempo de entrega.
- Reducción de papeleo.
- Mejora en las relaciones de trabajo.

La idea central en la formación de grupos tecnológicos es conformar *células de manufactura* a través de la identificación de familias de partes del producto; y de esta manera obtener beneficios para el proceso.

A continuación se dará un pequeño ejemplo de la formación de una matriz de grupos tecnológicos. En la Figura 1 se puede apreciar un layout sin escala el cual consta de 4 máquinas y 5 operaciones básicas dando como resultado la de grupos tecnológicos mostrados en la Matriz 1, a esta matriz se le conoce como totalmente separable dado a que cada una de sus máquinas y procesos pueden ser separadas.

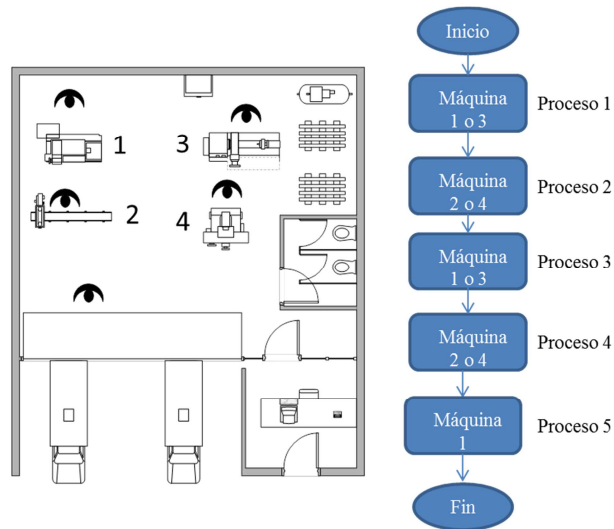


Figura 1 Layout y diagrama de flujo del proceso

Máquinas	Procesos				
	1	2	3	4	5
1		1		1	1
2	1		1		
3		1		1	
4	1		1		

Matriz 1 Formación de Grupos tecnológicos

En el siguiente ejemplo se muestra en la Figura 2 una formación semejante a la anterior, a diferencia de la primera el proceso cinco es realizado tanto por la máquina uno y la máquina dos, dando como resultado al momento de aplicar una formación de grupos tecnológicos de una matriz parcialmente separable, en donde esta comparte un proceso con dos celdas siendo imposible la separación de las mismas en diferentes familias de partes.

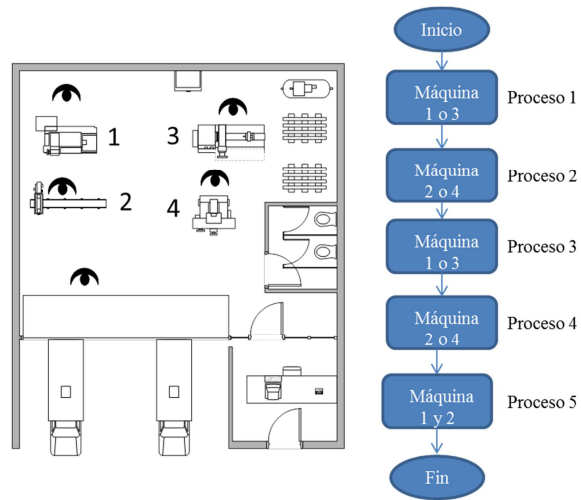


Figura 2 Diagrama de flujo de matriz parcialmente separables

Máquinas	Procesos				
	1	2	3	4	5
1		1		1	1
2	1		1		1
3		1		1	
4	1		1		

Matriz 2 Matriz parcialmente separable

Capítulo 2

Planteamiento del Problema

En este capítulo se describirá el planteamiento del problema así mismo como los objetivos generales y específicos, las hipótesis y los impactos esperados.

2.1 Descripción del Problema

Dentro de la industria mexicana, principalmente dentro de las pequeñas y medianas empresas existen problemas tales como la productividad baja. Ésta trae consigo diferentes consecuencias, por ejemplo el incremento de costos y la competitividad baja. Entre las causas más comunes de la baja productividad se pueden mencionar: la falta de estandarización de los procesos y la mala distribución de máquinas y operarios en el área de producción. En específico esta última trae consigo varios problemas como lo son: demora del proceso, existe demasiado inventario en el proceso, el movimiento del material es excesivo, se generan “cuellos de botella”, y las áreas de trabajo se ensucian frecuentemente.

Una manera de resolver este tipo de problemas es por medio de la filosofía de grupos tecnológicos (GT) la cual puede eliminar casi todos los problemas que se generan al tener una mala distribución de planta. Esta filosofía presenta varios problemas de aplicación, algunos de ellos son:

- Identificación de las familias de partes.
- Reordenamiento de las máquinas.
- Paro parcial de operaciones para crear los grupos.

Aunado a los problemas de aplicación existen varios problemas con las técnicas para la formación de grupos tecnológicos, conclusión a la cual se llegó por medio de la elaboración de la tesis de maestría (Carrum et al. 2006) y de la publicación realizada (Carrum, et al. 2004).

- Restricciones en la cantidad de variables.
- Técnicas delimitadas por ordenamiento o por costo.
- No se consideran las matrices parcialmente separables.
- No se tiene capacidad de memoria.
- Complejidad para realizarse

2.2 Objetivos

El principal objetivo que se desea cubrir en este proyecto es la aplicación y creación de una técnica de inteligencia artificial, por técnicas híbridas o clásicas para encontrar la solución a problemas de distribución de planta con el objetivo de ser aplicadas en procesos de manufactura.

Dentro de los principales objetivos que se pretenden cubrir con el desarrollo e implantación esta nueva técnica son:

1. Facilidad de manejo.
2. Técnica con capacidad de memoria.
3. Considerar a las matrices parcialmente separables.
4. Creación de una técnica la cual involucre tanto a los costos como al ordenamiento.

2.3 Hipótesis

Los indicadores de producción final, tiempo de ciclo del proceso y tiempo de traslado de un proceso productivo llámese celda de manufactura o línea de ensamblaje pueden mejorarse simulando el proceso utilizando grupos tecnológicos y optimización multi-objetivo.

Mediante el uso de técnicas de sembrado en particular del ART 1 (Adaptive Resonance Theory 1) se podrá mejorar el rendimiento del algoritmo NSGA II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II).

2.4 Impactos esperados

Como se ha mencionado en los objetivos, el resultado principal que se pretende lograr es la creación de una nueva red neuronal capaz de sustituir o ser una alternativa eficaz a las que ya existen en la actualidad.

2.4.1 Impacto Económico

El impacto que se pretende es reducir los tiempos muertos así como optimizar el proceso para el beneficio de las industrias, logrando así un importante ahorro económico en costos.

2.4.2 Impacto Social

El impacto que se pretende lograr como se ha mencionado anteriormente el principal beneficio es optimizar el proceso en una industria, con esto se conseguirá una mejor

capacidad de competencia trayendo con esto más trabajo a la localidad así cómo evitar que estas plantas se marchen de la región.

2.4.3 Impacto Científico

El impacto principal que se pretende tener es la creación de una nueva técnica para la solución de grupos tecnológicos, además se pretende la creación de varios artículos científicos así como el desarrollo de nueva tecnología.

Capítulo 3

Estado del Arte

Teniendo en cuenta la problemática presentada anteriormente se encontró que una manera de corregir el mal diseño de layout es por medio de formación de celdas de manufactura. Estas celdas son creadas de formas diferentes todas ellas teniendo como base para la creación de las mismas los grupos tecnológicos, siendo ésta la base se decidió al estudio del tema el cual se describe a continuación. Algunos ejemplos de la implementación de la filosofía de grupos tecnológicos son:

(Yanhai et al., 2000) mencionan que la integración de grupos tecnológicos con *Manufactura Esbelta* aportó importantes beneficios a una empresa asiática. Entre éstos mencionan una mejor programación de la producción, reducción en la verificación de calidad en la línea de producción, inspeccionando sólo el producto final. Otro beneficio fue la reducción de inventario en la línea de proceso (comúnmente llamado WIP por sus siglas en inglés (Work Inventory Process); con esto se reduce el costo de producción.

En la planta Hewlett Packard (Davis, 1990) se implementó esta filosofía con importantes beneficios. La planta tenía una producción mixta de bajo y alto volumen de los componentes diversos de un producto. Esto generaba un cuello de botella. Con la implementación de GT mejoró la línea y sus operaciones, resolviéndose así el problema.

No solamente en plantas de manufactura se han aplicado grupos tecnológicos. Otro campo de aplicación es el reconocimiento de patrones en imágenes. Usando grupos tecnológicos se agrupan patrones y mediante de una red neuronal se procesa la respuesta. Además, en problemas de logística y distribución se han usado grupos tecnológicos complementados con redes neuronales y sistemas expertos (Kusiak et al. 1998).

Revisión de técnicas para la formación de grupos tecnológicos

La filosofía de grupos tecnológicos puede implementarse usando una diversidad de técnicas. En este capítulo se revisan algunas de las más usuales las cuales se muestran en la Tabla 1 de forma dividida por las diferentes técnicas de aplicación.

Técnicas para la formación de Celdas de Manufactura							
Clasificación		Análisis de Clúster					
Codificación	Visualización	Matricial	Matemático	Grafico	Redes Neuronales	Algoritmos Evolutivos	Lógica difusa
		Coeficientes Similares	P-Median Model	Bipartido	ART1	Algoritmo Genético Simple	Fuzzy ART
		Flujo de Producción	Generalized P-Median Model	Transición	ART1 Yang	Algoritmo Genético de múltiples Objetivos	Fuzzy min
		Sorting Based	Quadratic Programming Model	Boundary	Backpropagation		Fuzzy max
		Bond Energy	Fractional Programming Model		Competitive Learning		
		Método Hamming	Taguchi		Graph Neuronal Approach		
					Trasiendely Chaotic Adaptative Hamming		
					IAC Models		
					Self-Organization Feature Map		
					Kohonen		
					Hopfield		
					Stochastic NN		

Tabla 1 Técnicas para la formación de celdas de manufactura

3.1 Clasificación y formación de clúster

El método de clasificación (Kusiak et al., 1998) (Kusiak, 2000) se utiliza para formar familias de partes a partir de su similitud geométrica o de diseño. Existen al menos dos criterios de clasificación: Visualización y Codificación. El criterio de visualización clasifica sobre la base de características geométricas. Esto se esquematiza en la Figura 3.

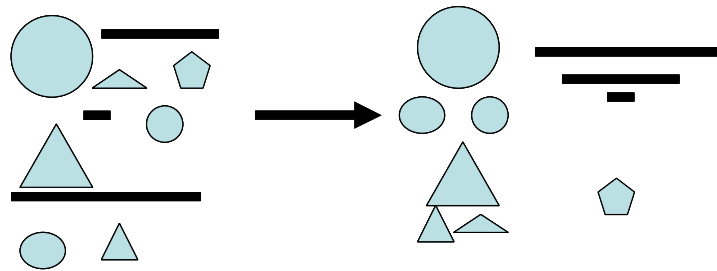


Figura 3 Esquema del criterio de visualización

En el criterio de codificación las familias de partes o grupos se forman en base a los siguientes aspectos:

- Forma geométrica o complejidad.
- Dimensiones.
- Tipo de material.
- Forma del material
- Requerimientos de manufactura.

Como ejemplo de la aplicación de esta técnica para la formación de familias de partes se puede encontrar a Wang (Wang et al., 2010) donde se hace una clasificación a partir de la forma geométrica de los moldes de inyección de plástico y hacen familias de partes basado a esta clasificación por medio de CAD. Otro ejemplo de la aplicación de esta técnica es la utilizada por Qiao (Qiao et al., 2009) donde hacen la planeación de producción de un nuevo producto basado en el CAD y CAM usando esta técnica y otras para lograr una planeación eficiente de la producción.

Los métodos de formación de clúster consisten en agrupar partes en familias homogéneas basados en sus características de proceso. Ésta metodología ha sido a su vez aplicada en diferentes áreas (Kusiak et al. 1998): Biología, reconocimiento de datos, medicina, reconocimiento de patrones, control de procesos. Existen varias formas mediante las cuales se pueden plantear el problema de formación de clúster; nos concentraremos en las siguientes:

- Formulación matricial
- Formulación matemática
- Redes neuronales
- Algoritmos Evolutivos

3.2 Formulación matricial.

En la formulación matricial, primero se modela el estado inicial de la planta mediante una matriz $A = [a_{ij}]_{m \times n}$, de máquinas-operaciones, donde se relacionan m máquinas con n operaciones. En la cual $a_{ij} = 1$ si la máquina i procesa la parte j y es cero de otra forma. Ninguna columna puede ser nula; es decir a cada operación le corresponderá al menos una máquina. Cuando una hilera es nula, este se interpreta como que la máquina correspondiente no realiza operaciones; y ésta se deja fuera del proceso. Una vez construida la matriz de máquinas-operaciones, el problema es ahora formar los clúster. La idea fundamental es, mediante permutaciones en las filas y las columnas de la matriz A encontrar la secuencia de operaciones que induzca la formación óptima (en algún sentido) de grupos tecnológicos. Los grupos tecnológicos se conforman por parejas de máquina que tengan coeficientes de similitud “semejantes” en algún sentido. En general el sentido de semejanza lo fija el ingeniero encargado de construir los grupos tecnológicos. En general, las soluciones óptimas pueden dar lugar a matrices de grupos *mutuamente separables* y *matrices de grupos parcialmente separables*.

Los grupos mutuamente separables son aquellos donde cada grupo de máquinas hace un grupo de operaciones (Matriz 3). De otra forma, los grupos se llaman parcialmente separables (Matriz 4).

		Procesos				
		1	3	4	2	5
Máquinas	2	1	1			
	4	1	1			
	1			1	1	1
	3			1	1	

Matriz 3 Matriz de grupos mutuamente separable

		Procesos				
		1	3	4	2	5
Máquinas	2	1	1			1
	4	1	1			
	1			1	1	1
	3			1	1	

Matriz 4 Matriz de grupos parcialmente separables

La existencia de grupos parcialmente separables genera comúnmente “cuellos de botella” (Kusiak et al. 1998). Esto puede resolverse tomando algunas de las siguientes acciones:

- Se pueden declarar como separables disponiendo que un operario traslade el material de una máquina a otra.
- Se instalan las máquinas necesarias para realizar las operaciones separadas de los grupos.
- Se puede subcontratar.

Para la solución de la formulación matricial existen diferentes técnicas como lo son:

- Métodos de coeficientes similares.
- Sorting-based algorithms.
- Flujo de producción.
- Método Hamming.

3.2.1 Coeficientes similares

La técnica de coeficientes similares se basa en la similitud de dos máquinas, digamos i y j , tomando en cuenta las partes que procesan. La similitud entre las máquinas i y j , s_{ij} se define como

$$s_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n d^1(a_{ik}, a_{jk})}{\sum_{k=1}^n d^2(a_{ik}, a_{jk})} \quad (1)$$

Donde

$$d^1(a_{ik}, a_{jk}) = \begin{cases} 1 & \text{si } a_{ik} = a_{jk} = 1 \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

$$d^2(a_{ik}, a_{jk}) = \begin{cases} 0 & \text{si } a_{ik} = a_{jk} = 0 \\ 1 & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

a = matriz de máquinas y procesos

Los grupos tecnológicos se conforman con parejas de máquinas que tengan coeficientes de similitud “parecidos”. El criterio de similitud se forma a partir de la creación de una gráfica obtenida de los resultados como se muestra en la Figura 4.

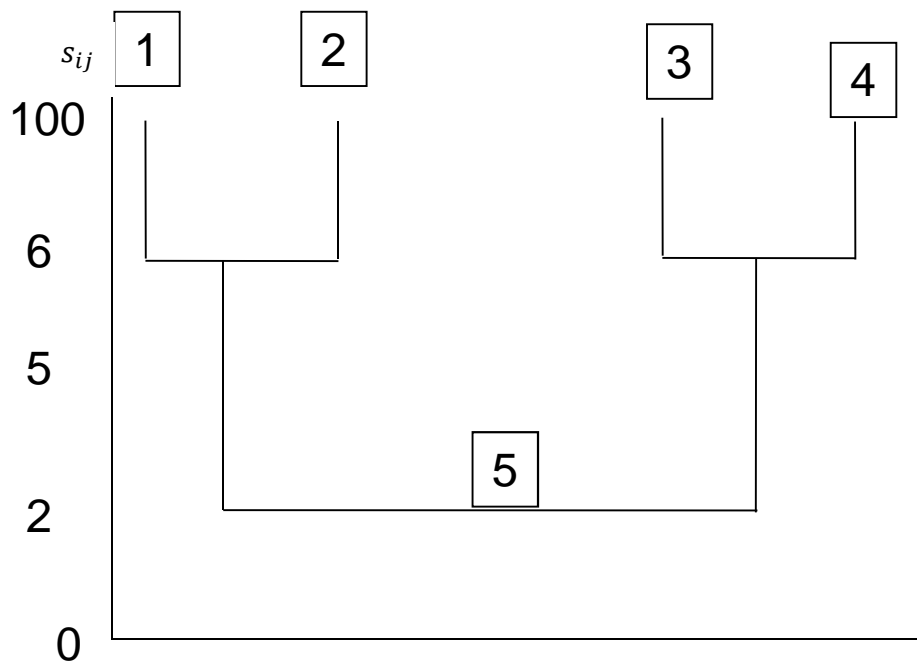


Figura 4 Gráfica de similitud entre operaciones

A lo largo del tiempo esta técnica ha sido utilizada para formar grupos tecnológicos y celdas de manufactura ya sea combinándose con técnicas de inteligencia artificial como ejemplo se tiene a Naadimuthu (Naadimuthu et al. 2010) donde usan esta técnica combinada con lógica difusa para obtener celdas de manufactura, también esta técnica ha sido combinada con redes neuronales como la de principal components analysis (Manojit et al. 2010) para poder obtener celdas de manufactura, otra de las técnicas de inteligencia artificial usadas para combinar esta técnica ha sido la de algoritmos genéticos (James 2007) donde usan esta técnica como función de evaluación para el algoritmo evolutivo para poder hacer una optimización en la formación de grupos tecnológicos. También esta técnica se ha combinado con otras técnicas heurísticas para formar celdas de manufactura usando las secuencias de operaciones el volumen de producción y el tiempo de operación para tener una celda óptima (Kumar et al. 2008), también se ha utilizado por sí sola para formar celdas de manufactura y compararlas con diferentes técnicas (Murugan et al. 2007) (Carrum et al. 2005) (Carrum et al. 2007)

3.2.2 Algoritmos Ranking Order Clustering

Este método se basa en clasificar de mayor a menor las columnas y los renglones de la matriz de incidencia a través de los siguientes pasos.

Paso 1.- Para cada renglón de la matriz de incidencia se calcula una ponderación, p_i llamada peso decimal equivalente, mediante la expresión

$$p_i = \sum_{k=1}^n a_{ik} 2^{n-k} \quad (2)$$

a = matriz de máquinas y procesos

Paso 2.- Se reacomodan los renglones en forma decreciente en base a su peso decimal equivalente.

Paso 3.- Se repiten los pasos 1 y 2 para las columnas, usando la ecuación.

$$p_j = \sum_{k=1}^m a_{kj} 2^{n-k} \quad (3)$$

Paso 4.- Se repiten los pasos anteriores hasta que no haya cambio alguno en la matriz de incidencias.

La matriz de incidencia resultante define los grupos tecnológicos. Algunos de los ejemplos de esta técnica sería el uso de la misma para formar celdas de manufactura como lo propone Murugan (et al. 2007) donde realiza una comparación de esta técnica junto con su sucesora conocida como ROC2 (ranking order clustering 2) propuesta por King (et al. 1982)

3.3 Formulación matemática

Otra metodología utilizada para resolver problemas de GT es la formulación matemática; en la mayoría de estas técnicas se incluye una distancia la cual es una diferencia entre la parte i y la j , el valor de esta distancia es un número real y se utiliza para minimizar ya sea la diferencia entre partes o la distancia entre un proceso y otro; Existen dos distancias las cuales son las más comúnmente utilizadas, la primera de ellas es la distancia Minkowski la cual se obtiene de la siguiente forma:

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^n |a_{ik} - a_{jk}|^r \right]^{1/r} \quad (4)$$

Donde a es la matriz a evaluar r es un entero positivo y n es el número de partes, la otra distancia utilizada es la distancia Hamming la cual está dada por:

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^n z(a_{ik}, a_{jk}) \quad (5)$$

$$\text{Donde } z(a_{ik}, a_{jk}) = \begin{cases} 1 & \text{si } a_{ik} \neq a_{jk} \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

a = Es la matriz de máquinas y procesos

De esta forma se obtiene la distancia. Existen diferentes técnicas para encontrar la solución de estos problemas las cuales son:

- p-median model
- generalized p-median model
- quadratic programming model
- fractional programming model

Donde sólo se describirá la primera de ellas siendo la más común para la solución de problemas de grupos tecnológicos (Kusiak et al. 1998).

3.3.1 P- median model

Este modelo se usa para agrupar n partes en p familias. Se utiliza el concepto de distancia entre partes, d_{ij} la cual puede definirse de diferentes formas. Para propósitos del presente trabajo se usó la distancia Hamming definida en las siguientes ecuaciones. Los grupos tecnológicos se forman resolviendo el siguiente programa binario:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1; \quad i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jj} = p$$

$$x_{ij} \leq x_{jj} \quad \text{para toda } i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$$

$$x_{ij} = 0, 1 \quad \text{para toda } \begin{cases} i = 1, \dots, n \\ j = 1, \dots, n \end{cases}$$

m Número de máquinas

n Número de partes

p Número de familias

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si la parte } i \text{ pertenece a la familia } j \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

D_{ij} Distancia entra la parte i y la parte j

Donde p es el número especificado de familias de partes. Una vez resuelto el programa, la matriz de incidencias se ajusta usando los valores de las x_{ij} . Los grupos se forman conforme al siguiente criterio: si $x_{rs} = x_{kl} = 1$ y $s = 1$ entonces x_{rs} y x_{kl} forman un grupo. Esta técnica ha sido mejorada con los años (Adnan et al. 2007) y ha sido aplicada en la formación de grupos tecnológicos.

3.3.2 Generalized p-median model

A diferencia del p median donde se establece que cada parte i sólo permite un proceso este modelo permite la incorporación de más procesos por parte, además de la incorporación de costos asociados con cada plan de procesos (Kusiak 1987). Donde en años recientes ha sido sometido a pruebas en contra de técnicas diferentes para la formación de grupos tecnológicos (Ulutaş et al. 2009).

3.4 Teoría de Resonancia Adaptable

Otra manera de identificar los grupos tecnológicos, es por medio de una red neuronal artificial del tipo ART (Adaptive Resonance Theory) (Grossber et al. 1987) (Grossber et al. 1992) mostrada en la Figura 5.

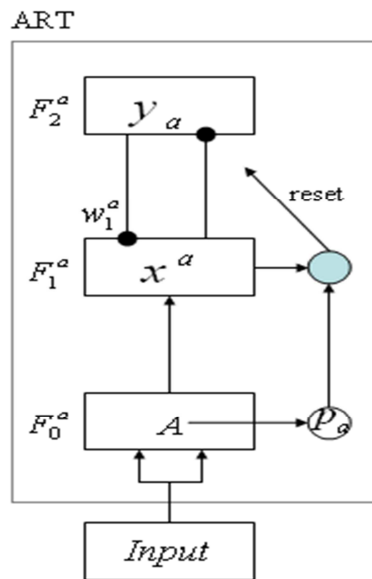


Figura 5 Red tipo ART.

La red es una modificación de la propuesta por Grossberg (Grossberg & Carpenter 1987) a fin de darle estabilidad y plasticidad. Esto es: la red retiene el conocimiento de las categorías aprendidas y puede aprender nuevas categorías sin olvidar las ya aprendidas. ART 1 consiste básicamente en dos capas o subsistemas y de un sistema orientado. Los dos subsistemas están interconectados por pesos adaptativos, los cuales se actualizan simultáneamente en base a sus entradas. Por otro lado se tiene el sistema de orientación, ρ conocido como parámetro de vigilancia. Éste parámetro se fija entre 0 y 1, y dependiendo del valor será la cantidad de grupos que se puedan formar. $A_{m \times n}$ Es la matriz de entrada o de incidencias, la cual modela (en términos binarios) el estado actual del layout de la planta con m procesos y n máquinas. La escribiremos como $A = [p_1, p_2, \dots, p_m]$ donde esta adaptación fue mostrada por Kusiak (Kusiak 1998) en uno de sus artículos, además de esta adaptación a la red neuronal ART se tomaron en cuenta otras dos adaptaciones más la creada por Yang (Yang 2004) y una creada para el fin de la tesis, a continuación se hará mención a 3 diferentes.

3.4.1 ART1 de Kusiak

Paso 1.- Iniciar ambos pesos. El primero $t_{ij} = 1$ y el segundo $b_{ij} = \frac{1}{(n+1)}$ para $j = 1, 2, \dots, m$ donde m y n son el número de neuronas, además se agrega un parámetro ρ el cual es un valor entre 0 y 1.

Paso 2.- Se presenta el Vector de entrada de la máquina $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$.

Paso 3.- Se calcula la suma del peso.

$$y_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

Paso 4.- Encontrar la neurona ganadora.

$$y_j = \max\{y_j\} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

Paso 5.- Comparar el criterio de similitud.

$$\sum_{i=1}^n \frac{t_{ij} x_i}{\|x\|} > \rho \quad (9)$$

Paso 6.- Si todas las entradas han sido hechas parar y si no pasar a paso 7.

Paso 7.- Actualizar b_{ij} y t_{ij} de la siguiente manera:

$$t_{ij}(k+1) = t_{ij}^*(k)x_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

$$b_{ij}^*(k+1) = \frac{t_{ij}^*(k)x_i}{0.5 + \left(\sum_{i=1}^n t_{ij}^*(k)x_i \right)} \quad (11)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Donde k es un escalón de tiempo, ahora regresa a paso 2.

Paso 8.- Como x no pertenece a ninguna celda considerada en el paso 4 se regresa la neurona ganadora a 0.

3.4.2 ART1 de Yang (2007)

Lo primero que se debe de hacer para ejecutar esta red neuronal es determinar el parámetro de vigilancia ρ dado por:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n |x_i - x_j|}{f(n) + \sum_{k=1}^{n-1} k} \quad (12)$$

Donde $f(n)$ está dada por una función monocromática creciente.

Paso 1.- Se determina el parámetro de vigilancia dado por la formula anterior y se dan los pesos mediante $\beta = 0.5$.

Paso 2.- Introducir el vector x .

Paso 3.- Se determina la neurona ganadora j por medio de la siguiente ecuación:

$$j = \min \sum_{i=1}^n |w_{ij} - x_i| \quad (13)$$

Paso 4.- Se determina el grado de similitud mediante lo siguiente.

$$\sum_{i=1}^n |w_{ij} - x_i| < \rho \quad \text{Ir al paso 6 de lo contrario ir a paso 5} \quad (14)$$

Paso 5.- Activar un nuevo nodo e ir a paso 2.

Paso 6.- Actualizar las matrices de peso mediante:

$$w_{ij}(t+1) = \beta * w_{ij}(t) + (1 - \beta)x \quad (15)$$

Paso 7.- Ir a paso 2 hasta que termine el las entradas.

Aunado a estas modificaciones a la red neuronal ART para la implementación de grupos tecnológicos se han utilizado otras redes neuronales como lo son la Backpropagation, Carpenter Grossberg, Competitive Learning, Graph Neuronal Approach, Self Organization Feature Map, ART1, ART2, Fuzzy ART, Fuzzy min, Fuzzy Max, Trasendente Caótico, Hopfield, Kohonen, Adaptative Hamming, IAC Models, Stochastic NN (Sengupta 2010) entre otras.

3.5 Taguchi

Otra forma de crear GT es mediante el uso del método Taguchi donde se siguen los siguientes pasos como lo proponen (Hachicha 2008):

1.- Planeación del experimento:

- (1) Determinar los factores de control, factores de ruido y calidad o rendimiento de las respuestas del producto de proceso.
- (2) Determinar el nivel de cada factor.
- (3) Seleccionar el arreglo ortogonal de la tabla de arreglos ortogonales (OA por sus siglas en inglés).

La selección de la mejor OA depende del número de factores y de interacciones, además del número de niveles de interacción.

2.- Implementar el experimento.

3.- Analizar y examinar los resultados.

- (1) Determinar los parámetros de significancia (ANOVA).
- (2) Hacer un gráfico de efectos y determinar el nivel óptimo de control.
- (3) Hacer un análisis del nivel de contribución de los factores.
- (4) Confirmar el experimento y concebir futuras acciones.

3.6 Algoritmos genéticos simples

Los algoritmos genéticos simples (GA) son los algoritmos evolutivos más usados creados por Holland en 1975, desde entonces han sido desarrollados y usados para resolver problemas de optimización (Mitsuo Gen et al. 2000). Hay muchas variantes usadas en los GA sin embargo para propósitos generales se tiene 4 elementos generales que son: la evaluación de los individuos, la selección, el cruce y la mutación. El proceso general se menciona a continuación:

Paso 1: Generar una población aleatoria.

Paso 2: Evaluar cada solución de la población.

Paso 3: Seleccionar a la mejor solución evaluada.

Paso 4: Generar una nueva población usando el cruce y la mutación de los individuos seleccionados.

En términos generales esos son los pasos para la construcción de un GA y han sido ampliamente utilizados para resolver problemas de GT como lo han propuesto Mahdavi (2009) donde se usa un GA para obtener un GT óptimo, además han surgido una cantidad numerosa de patentes donde se modifican algunas características del algoritmo genético como lo patenta Welch (2006) donde propone usar el algoritmo genético evaluando el tiempo de ciclo de producción para formar el GT óptimo. También los GA han sido combinados con diferentes técnicas como lo hace Enea (2005) donde combina el uso de GA con Fuzzy logic para obtener una formación adecuada de GT.

3.7 Algoritmos genéticos multi-objetivo

Estos algoritmos comparten casi lo mismo que los GA evaluación, selección, cruce y mutación a diferencia de los GA en lugar de evaluar un objetivo como su nombre lo indica realiza la evaluación de varios objetivos, los algoritmos genéticos multi-objetivo son variados como es el non-dominated sorting genetic algorithm II (NSGA II) propuesto por Deb (2000), el strength pareto evolutionary algorithm (SPEA II) propuesto por Zitzler (2001), el non-dominated ranking genetic algorithm (NRGA) propuesto por Al Jadaan (2008), Goldberg (2006) desarrollando una patente para la selección de los mejores individuos y conjunto de soluciones, entre otras técnicas que se pueden encontrar en la literatura, el uso de algoritmos genéticos multi-objetivo ha sido ampliamente utilizado para la formación de GT como lo propone Mohammad (2011) donde usa un algoritmo multi-objetivo y lo compara contra el NSGA II para la formación de GT, también Rahimi (2007) usa un algoritmo multi-objetivo basado en Particle swarm optimization para la obtención de GT basados en análisis del flujo del proceso, como estos ejemplos en la literatura se pueden encontrar varios algoritmos o algoritmos propuestos por los mismos autores.

3.8 Criterios de eficiencia

Para determinar cómo se comporta una celda de manufactura se encuentran en la bibliografía varios criterios los cuales se mencionan a continuación.

3.8.1 Block diagonalized

Como criterio de eficiencia se seleccionó el “Block diagonalized” utilizado por Chandrasaekharq & Rajagopalan (1989) y por Kyung-Mi Lee, Takeshi Yamakawa & Keon-Myung Lee (1997). Este último trabajo compara la eficiencia de varias técnicas tradicionales y de una red neuronal diferente a la planteada en este trabajo. La eficiencia global, η de un método se calcula mediante:

$$\eta = qn_1 + (1-q)n_2 \quad (16)$$

Dónde:

$$n_1 = \frac{e_d}{\sum_{r=1}^k M_1 N_1}$$

$$n_2 = 1 - \frac{e_0}{mn - \sum_{r=1}^k M_1 N_1}$$

n_1 = Carga de trabajo en la máquinas.

n_2 = El menor movimiento reflejado en la celda.

n = Refleja la eficiencia de los dos aspectos.

n = Número de partes.

m = Número de máquinas.

$M1$ = Número de máquinas en la i -ésima celda.

$N1$ = Número de partes en la i -ésima celda.

e_d = Número de lugares ocupados en la diagonal.

e_0 = Número de lugares ocupados fuera de la diagonal.

q = Factor de peso ($0 \leq q \leq 1$)

C = Número de celdas.

A continuación se nombran las técnicas diferentes de evaluación para determinar qué tan precisas son los métodos al momento de formar las familias:

- Distancia Hamming
- Distancia Mitowski
- Distancia Mitowski Euclidiana
- Bond Energy
- Eficiencia
- Eficacia
- Distancia a la Diagonal Principal

Donde la última de ellas fue desarrollada por el Dr. Luis Torres (2006).

Descripción de técnicas de evaluación

3.8.2 Distancia Hamming

Este criterio de evolución consiste en realizar seleccionar las matrices con menor distancia Hamming y está dado por:

$$\sum d_{ij} = \sum_{k=1}^n z(a_{ik}, a_{jk}) \quad (17)$$

$$\text{Donde } z(a_{ik}, a_{jk}) = \begin{cases} 1 & \text{si } a_{ik} \neq a_{jk} \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

a = matriz de máquinas y procesos

3.8.3 Distancia Mitowski

Este criterio de evaluación consiste al igual en seleccionar la matriz con menor distancia y está dado por:

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^n |a_{ik} - a_{jk}|^r \right]^{1/r} \quad (18)$$

a = matriz de máquinas y procesos

Donde r es un entero positivo y n es el número de partes.

3.8.4 Distancia Mitowski Euclidiana

Este criterio de evaluación consiste al igual en seleccionar a la matriz con menor distancia y está dado por:

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^n |a_{ik} - a_{jk}|^2 \right]^{1/2} \quad (19)$$

Donde n es el número de partes y a es la matriz de máquinas y procesos.

3.8.5 Bond Energy

Este criterio de evaluación consiste en seleccionar a la matriz con mayor cantidad de ME y está dado por:

$$ME = 1/2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} [a_{i,j-1} + a_{i,j+1} + a_{i-1,j} + a_{i+1,j}] \quad (20)$$

a = matriz de máquinas y procesos

3.8.6 Criterio de Eficacia

Como criterio de eficacia se seleccionó el creado por Chandrasaekharaq & Rajagopalan (1989). Al igual que de eficacia se selecciona la matriz que tengan un mayor valor de evaluación y está dado por:

$$\mu = \frac{N_1 - N_1^{Out}}{N_1 + N_0^{In}} \quad (21)$$

Donde

N_1 Es el número total de 1 en la matriz.

N_1^{out} Es el número de 1 fuera de la diagonal.

N_0^{In} Es el número de ceros dentro de la diagonal.

3.8.7 Distancia a la Diagonal Principal

Este método consiste en encontrar la menor distancia de los grupos formados con respecto a la diagonal.

Capítulo 4

Metodología

Como metodología de esta investigación se hace mención a los siguientes: La primera metodología contemplada para la solución para la formación de grupos tecnológicos fue una técnica creada denominado método Hamming, la cual fue desarrollada para dos tipos de matrices las cuadráticas y no cuadráticas, esta metodología se probó y publicó un artículo (Carrum et al 2006) y como resultado se pudo observar que el método Hamming propuesto tiene un buen desempeño en la formación de grupos, sobre todo cuando las matrices son grandes, es decir cuando las matrices tienen más de 20 operaciones y 20 máquinas, sin embargo dado a los objetivos buscados desde el inicio de esta tesis se decidió por la aplicación de una nueva metodología la cual como se mencionó anteriormente en el estado del arte para esta investigación se utiliza el NSGA II en el cual se hacen cambios de su diseño original y se le acopla una red neuronal artificial denominada ART1 modificada, además como su función de evaluación se le acopla un simulador el diseño de esta de metodología se presenta en la Figura 6.

A continuación se explicará a detalle de cada uno de los elementos que comprende la metodología propuesta, en el primer bloque se realiza una extracción del layout, es decir, se toma en cuenta las máquinas que se van a utilizar para la formación de celdas de manufactura, además de los procesos que realiza cada una de las máquinas o en su caso los procesos que se tienen contemplados a realizar por máquina, con esta información se crea una matriz en forma binaria en la cual las filas representan a las máquinas y en las columnas los procesos, para el llenado de la matriz se coloca un “1” en caso que la máquina pueda llevar a cabo el proceso “0” en caso contrario.

Como segundo paso de esta metodología se toman las características del proceso, es decir, tiempos y movimientos, en esta parte se hace un estudio del proceso donde se toman tiempos de los procesos y se ajusta a una distribución determinada, además se toma en cuenta las dimensiones físicas entre máquinas y sus recorridos de material, se toma también el tiempo de desplazamiento entre operaciones además de sus restricciones.

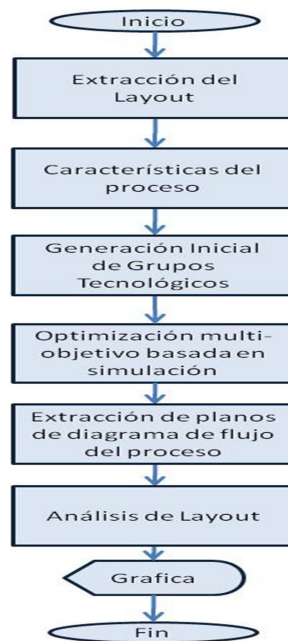


Figura 6 Metodología propuesta

Para el tercer paso de la metodología se crea una formación inicial de grupos tecnológicos, esto con el fin de ser usados más adelante por el optimizador, esta formación inicial se lleva a cabo mediante una red neuronal artificial modificada llamada Adaptive Resonance Theory 1 Modificada la cual se muestra en la Figura 7 y se describe a continuación:

Se ingresa la matriz binaria que contiene la información de la máquina y los procesos, se inicializan los pesos de la red neuronal artificial, donde m y n están dados por la cantidad de máquinas y la cantidad de procesos respectivamente, los cuales

representan el tamaño de entrada de la matriz de incidencia donde se crean de la siguiente manera:

$$\beta = \frac{1}{(m+1)}$$

$$t = 1 \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, n \end{array} \quad (22)$$

Después se introduce el vector de entrada x , una vez introducido este vector se multiplica el vector de entrada x por la matriz de peso β de la siguiente forma:

$$y = \beta * x_i \quad (23)$$

Se determina la neurona ganadora basándose en la información dada por la multiplicación, este dirá a qué celda pertenece ese vector de entrada de la siguiente manera:

$$y_j = \max\{y_j\} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (24)$$

Se selecciona la matriz de pesos t en la columna ganadora dada por la neurona ganadora, se busca el valor esperado entre el proceso de la siguiente forma:

$$\alpha = \beta(y_j) \& x_i \quad (25)$$

Se actualiza la matriz de peso β de acuerdo a la neurona ganadora de la siguiente forma:

$$\beta(y_j) = \frac{x_i}{0.5(\sum_{i=1}^n x_i)} \quad (26)$$

Se actualiza la segunda matriz de peso t de acuerdo a la neurona ganadora en la siguiente forma:

$$t(y_j) = x_i \quad (27)$$

Una vez terminado las actualizaciones, se verifica si todas las entradas de las matrices β y t han sido terminadas, si fuera el caso, concluye el proceso de la red

neuronal artificial, de lo contrario se toma la siguiente entrada y se repite el procedimiento volviendo a introducir nuevamente el vector de entrada x .

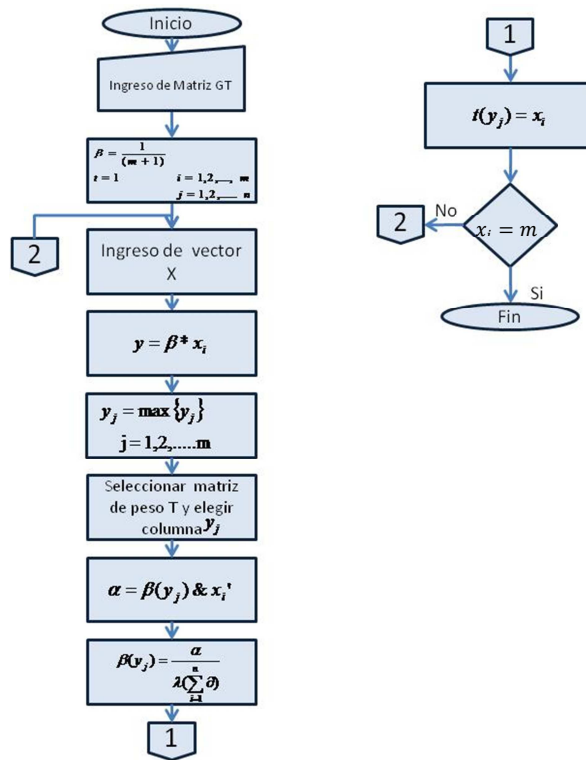


Figura 7 Red Neuronal ART1 Modificada

De esta forma se obtiene una formación inicial de GT la cual será utilizada para dar una guía al algoritmo de optimización y así poder hacer más eficiente y rápido la obtención de resultados.

Como cuarto paso en la metodología propuesta se tiene la optimización multi-objetivo basada en simulación, en este punto se utiliza un algoritmo denominado non-dominated sorting genetic algorithm II (NSGA II), donde este utiliza un sembrado que se obtiene mediante el uso del paso anterior de la metodología, además donde su función objetivo está dada por un simulador, el algoritmo se muestra en la Figura 8 y se describe a continuación:



Figura 8 Diagrama general del NSGA II

Para comenzar se ingresa en el algoritmo el diseño de distribución de la maquinaria y procesos obtenidos en el primer paso de la metodología propuesta, con esto se generan 100 individuos de forma aleatoria para representar la población inicial del algoritmo, después se realiza un sembrado del 10% de la población utilizando la red neuronal ART modificada, es decir, se sustituye 10 individuos generados aleatoriamente por 10 individuos creados por la red neuronal, una vez ingresado el sembrado de los datos tradicionalmente en este tipo de algoritmos se toma la función objetivo y se da solución a la misma, mientras que en la metodología propuesta siendo este algoritmo basado en simulación se crea un programa para simular celdas de manufactura el cual se presenta en la Figura 9. Para este simulador el primer paso es el ingreso de los datos los cuales constan de:

- Matriz de procesos y maquinaria en forma de grupo tecnológico.
- Tiempos de procesos los cuales pueden ser dados en forma de distribución o en tabla.

- Tiempos de traslado de y hacia cada máquina y su distancia en caso de tener alguna.
- Tiempo de simulación, el cual será corrida la simulación para cada formación la cual comprende días, turnos y horas.

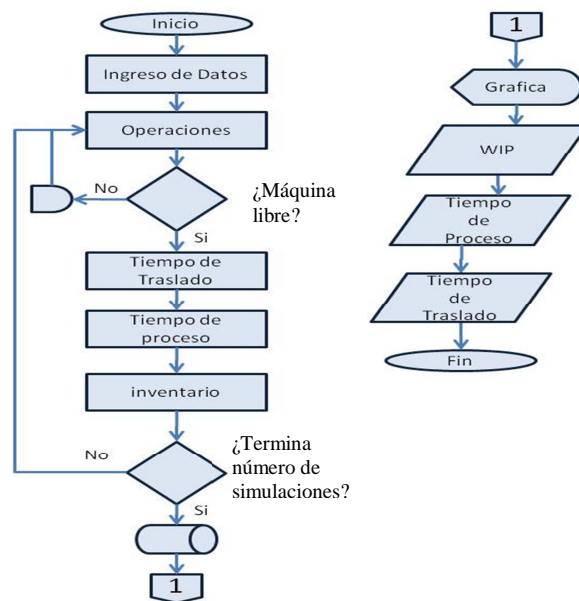


Figura 9 Diagrama del simulador de GT

Ya con la información el simulador comienza a realizar evaluaciones y asignar operaciones a cada máquina, el cual primero elige la operación a simular; una vez elegida la operación a simular, se verifica si hay disponibilidad de máquina, en caso de no haber máquina disponible, se genera una demora la cual suma tiempo y espera a que una máquina sea liberada, en caso de haber máquina libre continúa con el proceso. Se le suma el tiempo de traslado a la operación; una vez sumado el tiempo de traslado, se crea una tabla con 100 tiempos diferentes basados en ese diseño en particular y se toma un tiempo al azar; al terminar el tiempo en esta operación, suma el tiempo obtenido a las operaciones realizadas y al inventario; una vez sumado el tiempo, se verifica si el tiempo de simulación ha concluido, en caso de no haber concluido, el tiempo de simulación se incrementa en un segundo y se regresa a la operación a simular, en caso de haber concluido el tiempo de

simulación, una vez terminada la simulación para un diseño en específico se guarda los tiempos de traslado, los tiempos de procesos, el inventario en proceso y el inventario final, se continúa con el siguiente diseño hasta terminar con toda la población de individuos.

Una vez terminadas las simulaciones se procede a hacer la clasificación de dominancia para los resultados obtenidos del simulador, después de esto se ejecuta una selección determinista, esta selección toma al 100% de los individuos y realiza un orden de ellos, donde primero localiza a las mejores soluciones que contengan la maximización de la producción, después se ordenan las soluciones basados a la mejor minimización del inventario en proceso y por último se ordenan las soluciones basadas en la minimización del tiempo de traslado, una vez realizado este ordenamiento de soluciones se toma el 50% de los individuos para poder realizar un cruce de cambio de orden, seguido de una mutación al 1% de la población, con esto se genera un nuevo grupo de diseños siendo éste de la misma cantidad que se creó al principio, en caso de haber concluido con las generaciones, se selecciona el diseño más óptimo en caso contrario se retoma desde la simulación donde se evalúan otra vez los nuevos diseños y se hace todo el recorrido hasta terminar con las generaciones.

Como quinto paso en la metodología propuesta se toma la mejor solución que se le presente al usuario y con esta se realiza el sexto paso de la metodología donde ésta solución se simula número total de veces basándose en la teoría de Tchebycheff (Azarang et al. 1998), la cual indica que cuando se desconocen los datos o sigan una distribución diferente de la normal el cálculo del tamaño de simulaciones para que el sistema sea estable debe de ser:

$$n = \frac{m^2}{\alpha} \quad (28)$$

Dónde:

n = Número de simulaciones

m = Número de desviaciones estándar permitidas

α = Probabilidad de error permitida

De tal forma que dando los valores de 2 desviaciones estándar permitidas y con un error del 15% quedaría de la siguiente forma:

$$n = \frac{2^2}{0.15}$$

$$26.66 = \frac{2^2}{0.15}$$

$$25 \cong 26.66$$

Capítulo 5

Experimentación

5.1 Experimentación de la metodología

Para la experimentación de la metodología completa se tomaron los siguientes ejemplos mostrados en la Tabla 2.

Tamaño	Referencia
4x5	Kusiak
6x11	Inventada
15x15	Yang
20x35	Carrie
40x100	Rajagopalan

Tabla 2 Ejemplos para la experimentación de la metodología completa

5.1.1 Matriz 4 x 5

Para la experimentación de la metodología se tomaron las mismas matrices con las que se realizaron las pruebas de GT, cada matriz se evaluó usando tres métodos diferentes el primero en su forma original, usando solamente la red neuronal ART modificada, usando la metodología NSGA II y usando la metodología propuesta. La primera prueba se realiza con una matriz de tamaño 4 x 5 Matriz 1 con la siguiente matriz de distancia.

0	8	9	15
8	0	15	9
9	15	0	10
15	9	10	0

Matriz 5 Matriz de distancia

Dando como resultado la siguiente tabla:

Matriz 4 x 5			
	Producción Final	WIP	Tiempo de traslado
Original	164	6.26	254.6543974
ART1	200	4.5	158
NSGAI	170	9.9	154.3554675
NSGAI Híbrido	224	6.9	176

Tabla 3 Resultado Matriz 4 x 5

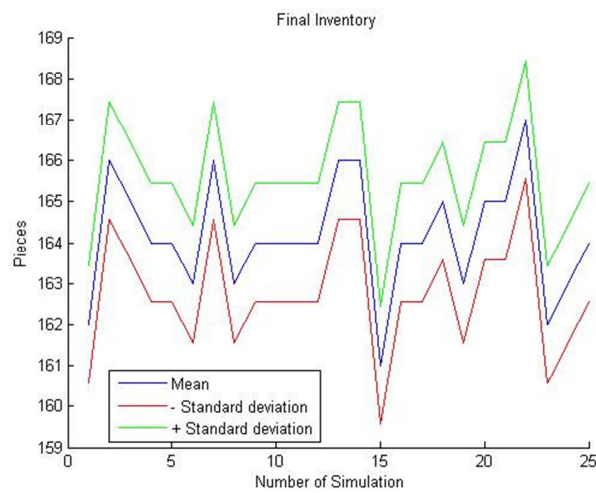


Figura 10 Resultados de piezas finales original

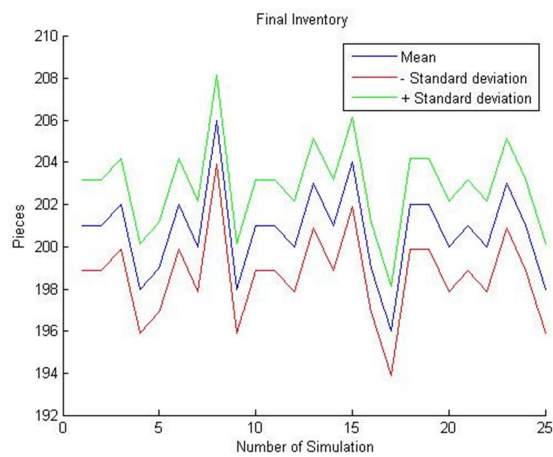


Figura 11 Resultados de piezas finales ART modificado

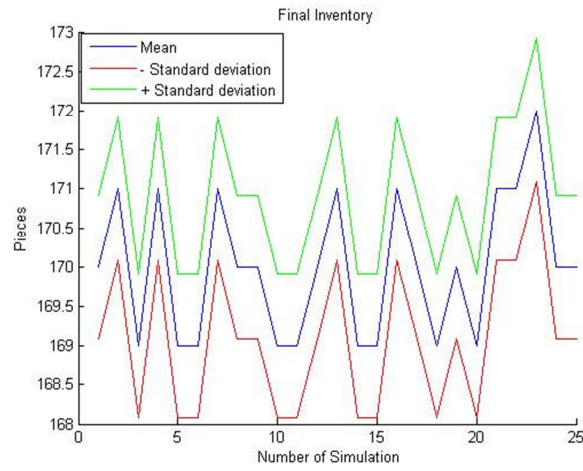


Figura 12 Resultados de piezas finales NSGA II

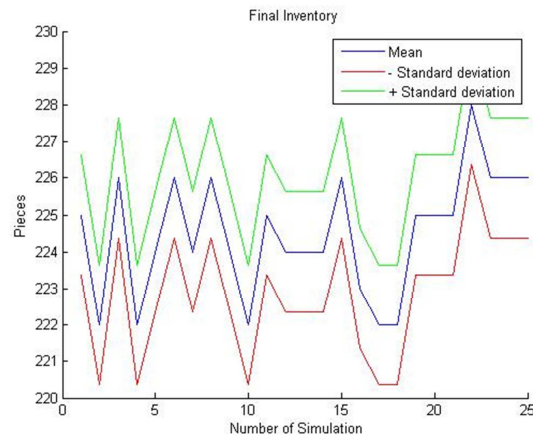


Figura 13 Resultados de piezas finales NSGA II Híbrido

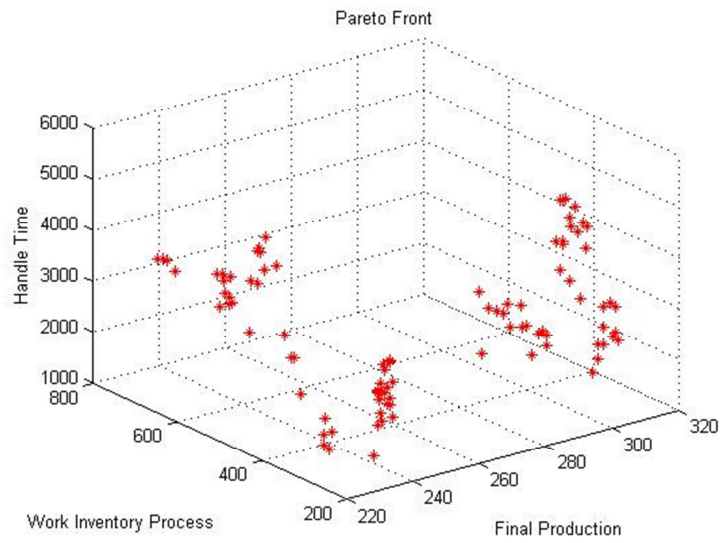


Figura 14 Aproximación al Frente de Pareto

Como se puede apreciar en la Tabla 3 y en la Figura 10, Figura 11, Figura 12 y Figura 13 de salida para este ejemplo el NSGA II sólo tuvo un mejor desempeño en cuanto a su producción final, pero el NSGA híbrido tuvo una buena salida, además de reducir el inventario en proceso.

5.1.2 Ejemplo 6 x 11

Para este ejemplo se utilizó una matriz de 6 máquinas y 11 procesos, cabe destacar que esta matriz en particular es una matriz parcialmente separable, es decir, no se puede separar en celdas debido a su complejidad.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		1		1		1				1	
2		1	1		1		1				
3			1					1	1	1	1
4			1	1		1			1		1
5	1				1					1	
6	1			1			1				

Matriz 6 Matriz inicial

Con esta matriz también se obtuvo un resultado mostrado en la siguiente tabla:

Matriz 6 x 11				
	Producción Final	WIP	Tiempo de Traslado	
Original	66	8	392.71	
ART1	67	10	408.66	
NSGA-II	132	8	316.95	
NSGA-II Híbrido	132	2	334	

Tabla 4 Resultado de comparación entre técnicas

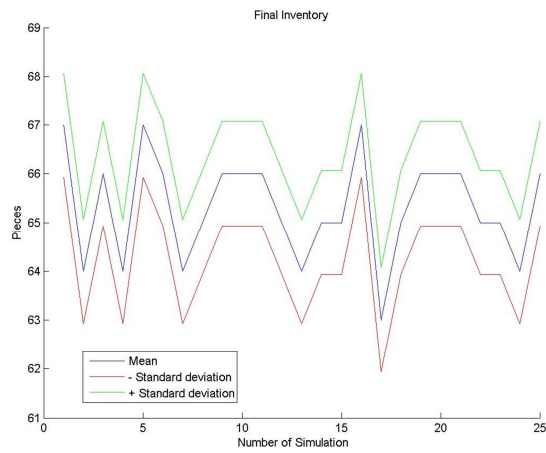


Figura 15 Comportamiento final original

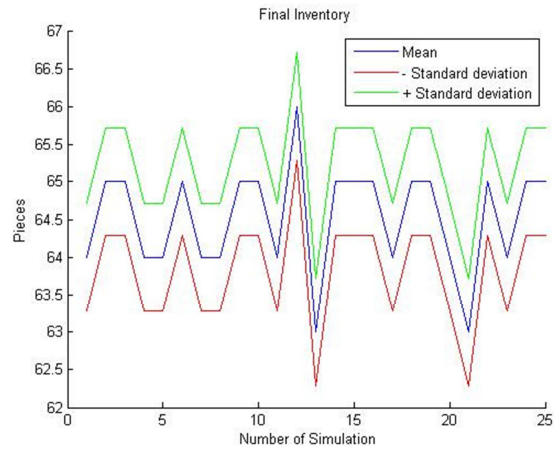


Figura 16 Resultados de piezas finales ART modificado

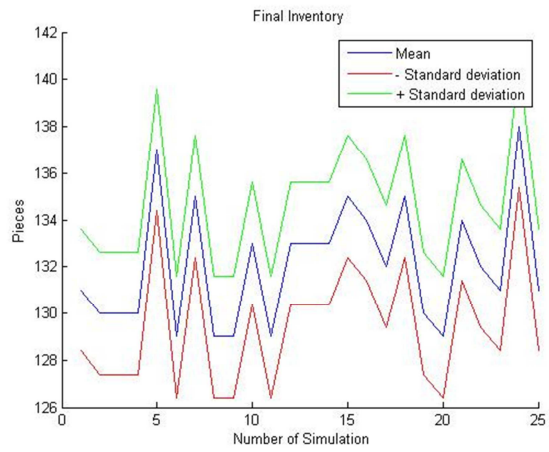


Figura 17 Resultados de piezas finales NSGA II

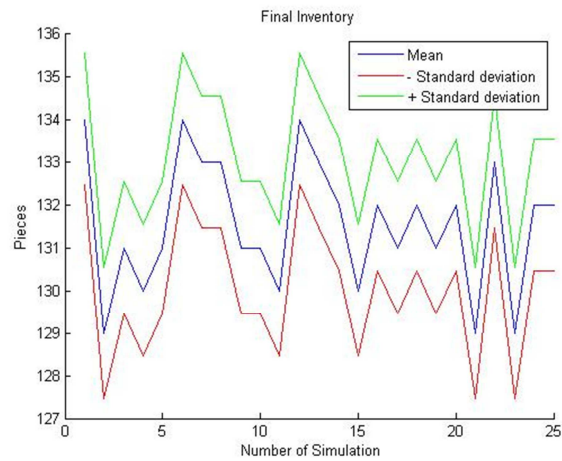


Figura 18 Resultados de piezas finales NSGA II Híbrido

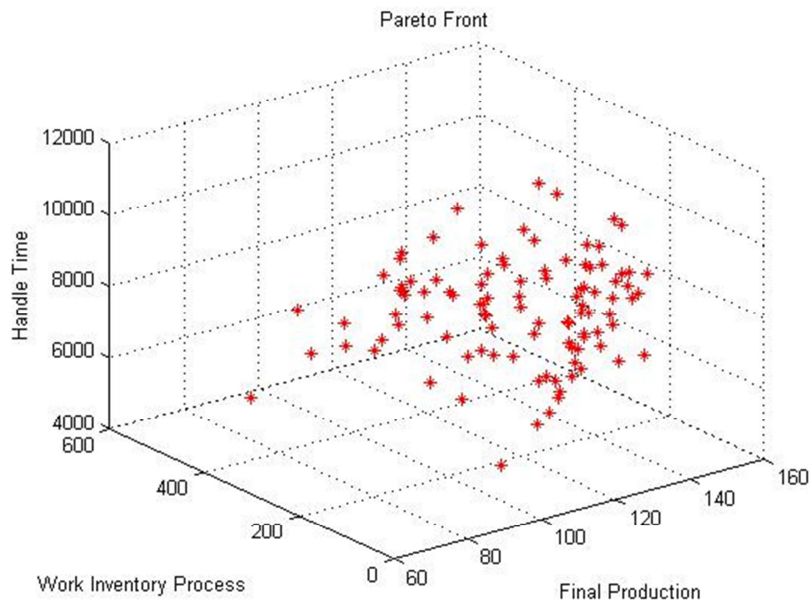


Figura 19 Aproximación al Frente de Pareto

Como se puede apreciar en la Tabla 4 y en la Figura 15, Figura 16, Figura 17 y Figura 18 aquí la metodología propuesta y el NSGA II tuvieron el mismo resultado de salida, sin embargo la metodología propuesta tuvo un mejor desempeño en cuanto a inventario en proceso.

5.1.3 Ejemplo 15x15

0	16	13	16	19	17	18	1	5	3	17	10	12	15	11
16	0	4	16	7	6	6	7	18	9	13	10	2	5	11
13	4	0	5	12	16	15	4	4	6	8	7	5	14	17
16	16	5	0	5	6	15	16	17	16	11	18	8	4	16
19	7	12	5	0	19	8	7	11	9	9	8	17	8	13
17	6	16	6	19	0	12	11	20	18	2	3	1	13	8
18	6	15	15	8	12	0	4	2	4	6	16	2	16	16
1	7	4	16	7	11	4	0	9	6	3	8	4	3	11
5	18	4	17	11	20	2	9	0	4	4	6	13	19	8
3	9	6	16	9	18	4	6	4	0	6	9	15	16	19
17	13	8	11	9	2	6	3	4	6	0	3	13	10	18
10	10	7	18	8	3	16	8	6	9	3	0	10	9	11
12	2	5	8	17	1	2	4	13	15	13	10	0	9	13
15	5	14	4	8	13	16	3	19	16	10	9	9	0	12
11	11	17	16	13	8	16	11	8	19	18	11	13	12	0

Matriz 7 Distancia entre máquinas

Matriz 15x15

	Producción Final	WIP	Tiempo Traslado
Original	114	6.74	551.29
ART	121	7.14	266.53
NSGA II	102	6.3	575.44
NSGA II Híbrido	119	5.9	441.3

Tabla 5 Resultado de Comparación entre técnicas

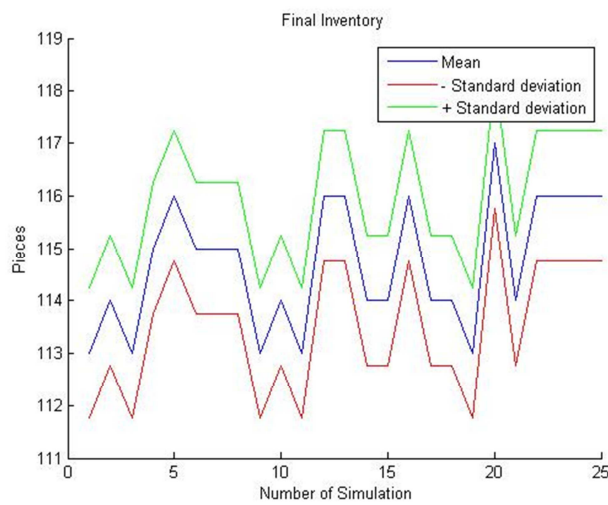


Figura 20 Comportamiento final original

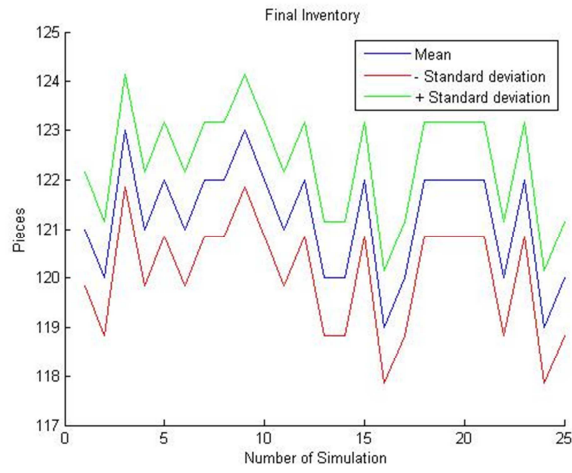


Figura 21 Resultados de piezas finales ART modificado

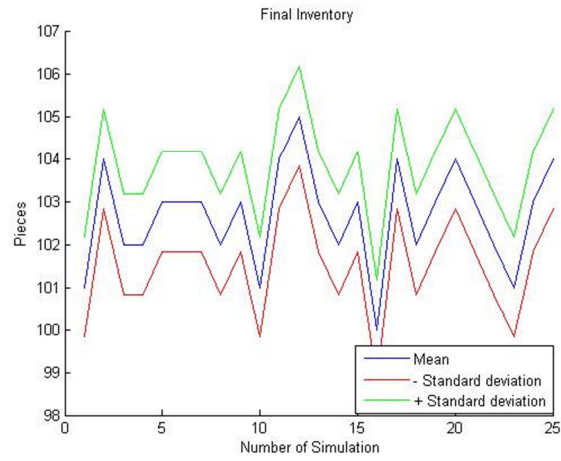


Figura 22 Resultados de piezas finales NSGA II

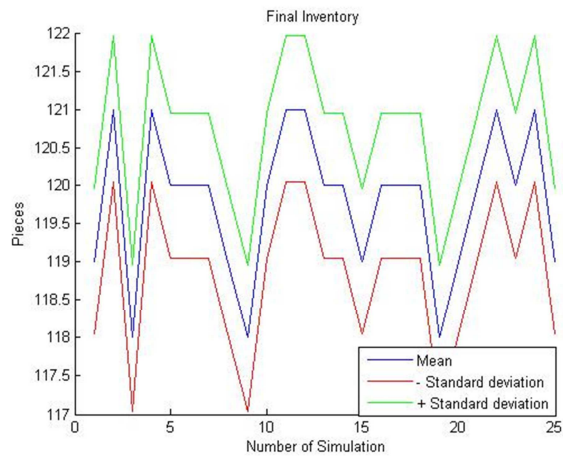


Figura 23 Resultados de piezas finales NSGA II Híbrido

3			0	6	9	0	1		3		3	1	0	6	6	9	0	2	0	6	7	1			8	7									
7	9	2	6	7	8	4	1	9	7	9	7	6	7	3	7	6	7	0	0	1	3	8	7	1	5	8	6	9	6	3	2	8	4	2	
1	2			1	1	1		1	1			1	1		1	1	1	1		1	1	1	1						1	2		1	1		
6	0	3	1	5	6	8	3	3	4	2	2	8	5	1	9	0	2	5	1	0	2	1	7	5	0	2	3	5	8	6	0	7	7	7	
1	1			1		1	1	1	1		1	1		1	1	1	1	1		1		1	1	1					1	1			1		
3	5	7	3	6	7	7	1	1	5	9	5	6	6	4	0	4	7	6	3	2	0	7	8	8	1	6	1	5	7	0	6	7	4	6	
1			2	1		1		1		1	1			1			1	1		1		1			1	1		1	1	1			1		
8	7	6	0	3	3	9	6	2	3	6	7	3	4	8	1	5	5	6	8	1	7	0	9	3	3	0	2	7	7	2	4	3	1	1	
					1		1	1	2	1			1	1	1	1		1	1	1		1	1	1		1	1	1	1				1		
7	6	2	9	8	6	5	5	5	0	4	5	2	1	4	2	2	2	9	7	7	8	9	0	1	5	2	8	2	5	2	5	6	5	5	
	2						1	1	1		1		1	1			1	1	1	1	1		1		1	1	1	1		1	1	1		1	
4	0	9	6	9	6	4	6	7	7	7	2	6	9	3	2	6	2	0	1	5	8	3	1	0	4	0	4	8	0	4	4	6	3	8	
1	2		1					1		1		1		1						1	1								1		1	1		1	
2	0	2	7	8	2	3	2	8	1	9	7	6	7	8	6	7	6	9	5	0	1	3	5	4	0	1	4	6	8	3	5	2	9	6	
1	1	1		1	1				1	1	1	1		1	1	1	1	1			1	1	1	1					1	1	1		1		
6	0	9	2	6	4	2	9	7	2	4	4	5	2	3	6	2	3	2	8	2	6	0	2	0	1	0	4	2	2	9	3	5	3	9	
1	2		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	
7	0	8	4	6	6	0	0	7	7	9	7	2	7	8	8	2	8	0	6	3	1	2	8	4	4	4	0	3	3	1	5	6	2	5	
	1	1		1			1	1	1		1			1	1		1	1				1	1			1	1			2		1			
5	3	2	1	4	6	5	6	3	1	8	4	7	3	8	7	4	4	6	9	5	5	7	2	8	6	2	3	0	6	7	8	0	7	6	
1				1		1					1	1	1	1		2	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1					1	1	
4	4	6	5	7	9	6	6	7	5	1	9	1	5	1	7	0	8	7	6	8	7	7	5	0	8	2	3	6	0	2	3	7	8	7	
1				1				1		1		1	1	1	1	1		1	1	1	1		1	1		1	1				1	2	1		
1	3	5	4	4	4	4	3	1	2	0	9	6	1	8	3	3	3	1	3	6	0	2	2	4	3	9	1	7	2	0	4	0	0	7	
1	1	1	1		1		1	1		1		2	1	1	1	1			1	2	1	1		1	1	1	1				1		1		
6	2	6	3	2	9	9	4	6	6	8	7	0	1	3	9	9	2	6	2	0	6	4	5	4	5	3	5	8	3	4	0	2	2	1	
	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1		1	1		1				1	1		1	1		1	2		1	1		1	
6	9	1	5	1	1	7	9	8	8	2	6	8	4	7	1	8	9	2	8	7	7	3	6	6	2	5	6	0	7	0	2	0	5	5	
1		1	1		1	1		1		1		1	1	1			1	1	1			1			1		1	1		1	2		1		1
1	3	5	9	5	5	6	9	0	2	7	6	9	6	8	1	8	8	8	4	7	4	1	5	3	9	3	2	7	8	0	2	5	0	8	
	1	1	1	1		1		1	1	1	1		1	1		1	1	1	1	1	1	1	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	
9	1	2	2	4	9	8	1	7	2	8	4	2	1	3	0	9	8	7	2	7	6	1	5	8	6	9	5	6	7	7	1	5	8	0	

Matriz 8 Distancia entre máquinas

Matriz 35x20			
	Producción Final	WIP	Tiempo Traslado
Original	342	24.84	2846.2
ART	382	20.96	1846.11
NSGA II	125	32.96	1766.257
NSGA II			
Híbrido	376	7.6	2563.47

Tabla 6 Resultado de comparación de técnicas

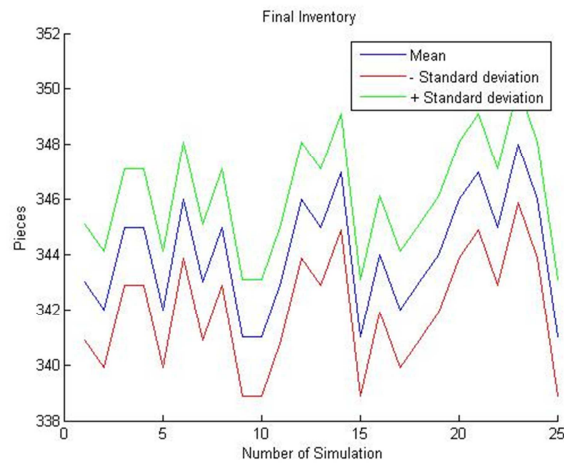


Figura 24 Comportamiento final original

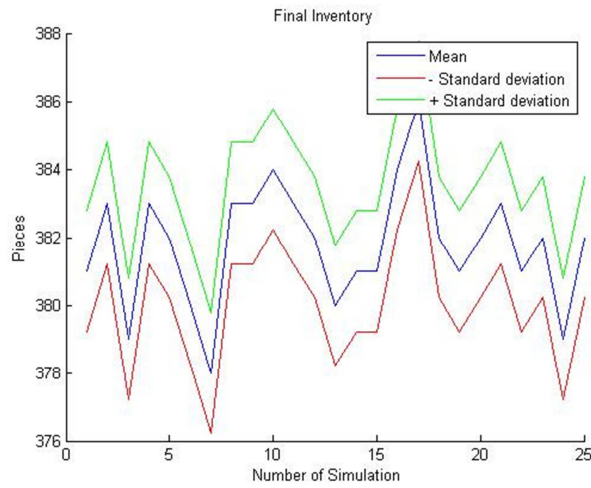


Figura 25 Resultados de piezas finales ART modificado

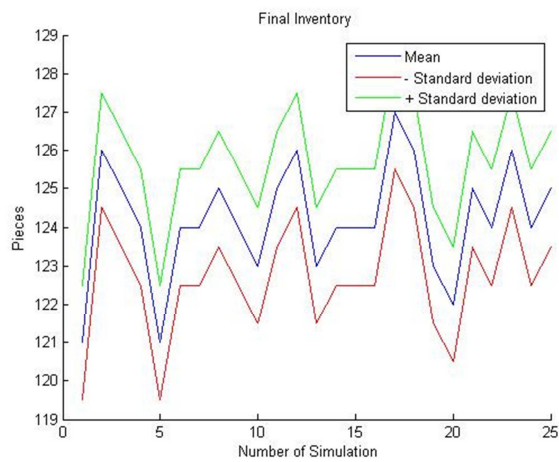


Figura 26 Resultados de piezas finales NSGA II

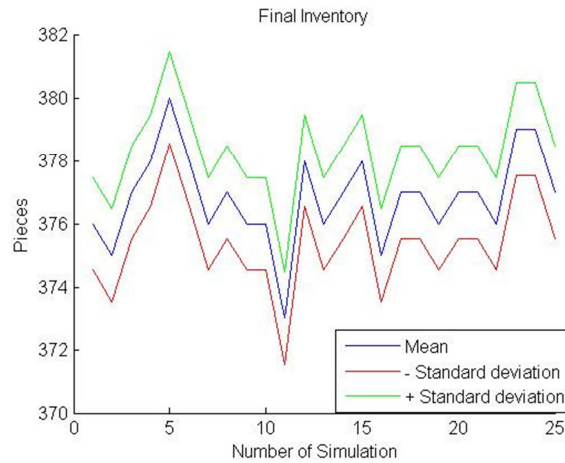


Figura 27 Resultados de piezas finales NSGA II Híbrido

Para este ejemplo el mejor resultado lo obtuvo la red neuronal tuvo un mejor desempeño en cuanto la producción final y tiempos de traslado pero en cambio la metodología propuesta obtuvo una disminución considerable en cuanto al inventario en proceso

5.1.5 Ejemplo 40x100

Para este ejemplo siendo las matrices grandes se pueden encontrar en los anexos D y E

Matriz 40 x 100			
Producción			
	Final	WIP	Tiempo Traslado
Original	49	5.755	2312.1
ART	51	6.122	1141.98
NSGA II	47	25.19	3369.59
NSGA II Híbrido	49	2.9	2249.45

Tabla 7 Resultado de comparación de técnicas

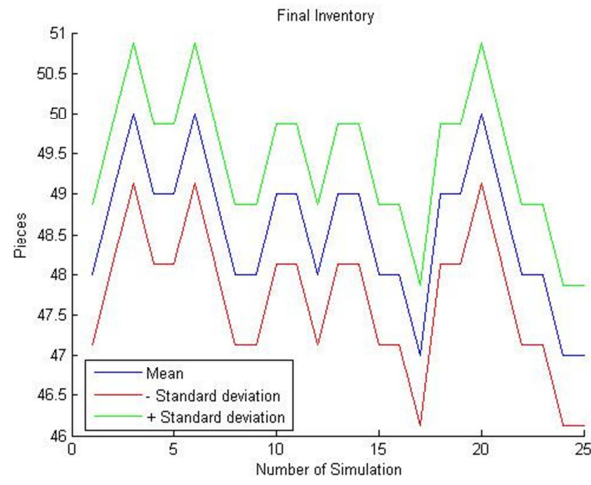


Figura 28 Comportamiento final original

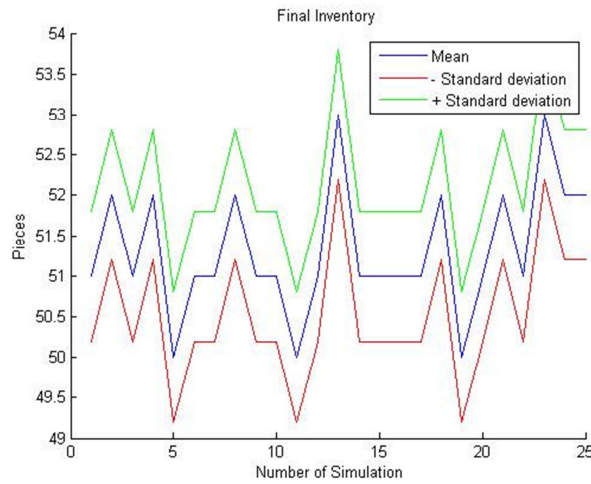


Figura 29 Resultados de piezas finales ART modificado

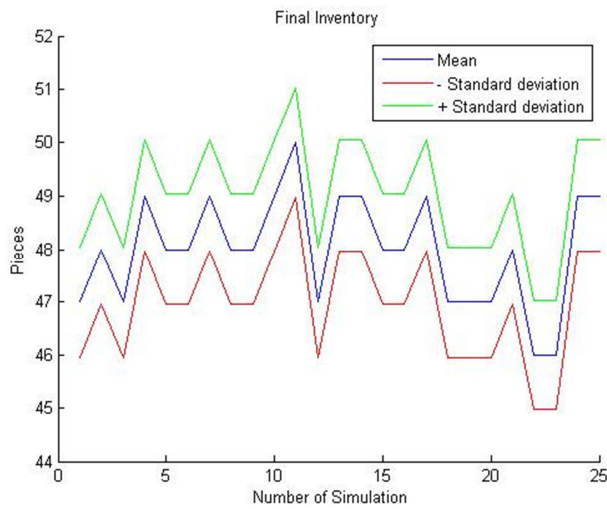


Figura 30 Resultados de piezas finales NSGA II

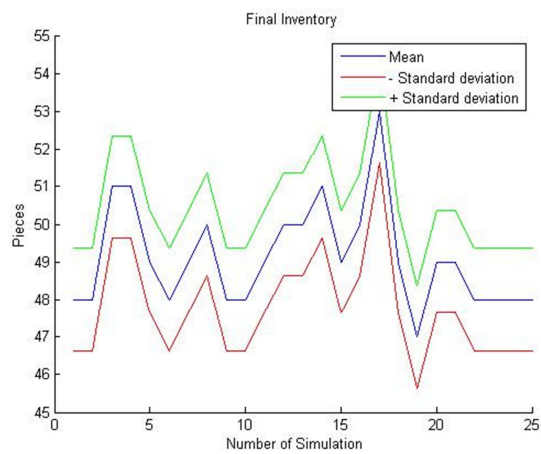


Figura 31 Resultados de piezas finales NSGA II Híbrido

Como se aprecia en las tablas al igual el ART tuvo un mejor desempeño en cuanto la producción final, pero en cuanto al inventario en proceso lo obtuvo la metodología propuesta.

5.2 Red Neuronal ART-1 Modificada

Como parte de la investigación para la creación de un modelo Neuro-Genético se dio a la tarea de hacer experimentaciones con la red neuronal ART-1 y modificarla para la obtención de grupos tecnológicos sin la necesidad de utilizar parámetros de vigilancia en la red neuronal de tal forma que no afecte el parámetro ρ en la obtención de grupos tecnológicos. Los procedimientos básicos para la construcción de esta red neuronal se muestran a continuación:

Paso 1.- Se inicializan las matrices de peso, donde m y n están dadas por el tamaño de entrada de la matriz es decir por sus máquinas y sus operaciones de la siguiente forma:

$$\beta = \frac{1}{(m+1)}$$

$$t = 1 \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, n \end{matrix} \quad (29)$$

Paso 2.- Se introduce el vector x que está dado por la entrada de la máquina o el proceso según el caso.

Paso 3.- Se multiplica el vector x por la matriz de peso β de la siguiente forma:

$$y = \beta * x_i \quad (30)$$

Paso 4.- Se determina la neurona ganadora, con esto se encuentra a que celda pertenece ya sea el proceso o la máquina según el caso.

$$y_j = \max\{y_j\} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (31)$$

Paso 5.- Se selecciona y cambia en la matriz de pesos t la columna ganadora en el paso 4.

Paso 6.- Se realiza una expectación entre el paso 5 y el vector de entrada x de la siguiente forma:

$$\alpha = \beta(y_j) \& x_i \quad (32)$$

Paso 7.- Las matrices de peso son actualizadas según la neurona ganadora del paso 4 de la siguiente forma:

$$\beta(y_j) = \frac{x_i}{0.5(\sum_{i=1}^n x_i)} \quad (33)$$

$$t(y_j) = x_i \quad (34)$$

Paso 8.- regresar al paso 2 hasta que todas las entradas se hayan realizado.

Una vez obtenido la modificación de la red neurona ART-1 se dio a la tarea de experimentar con dos diferentes tipos ART el primero de ellos en su forma original

mostrado en el capítulo en el estado del arte de este documento y otra modificación de ART propuesta por Yang (2007) igualmente descrita en el estado del arte.

Una vez teniendo los tres tipos de ART programados se procede a verificarlos con los ejemplos diferentes tomando en cuenta los criterios de eficiencia que se describen en la sección anterior de este documento dando como resultado la Tabla 8.

Tamaño	ART Kusiak	ART Yang	ART Modificada	Referencia
4x4	100%	100%	100%	Kusiak
4x5	95%	95%	95%	Kusiak
6x11	6.20%	6.20%	6.20%	Pump Machine
15x15	100%	100%	100%	Yang
20x35	55.44%	58.08%	58.27%	Carrie
28x35	100%	100%	100%	Yang
40x100	14.52%	17.38%	17.77%	Rajagopalan

Tabla 8 Resultados de comparación de redes neuronales

Como se puede apreciar en la tabla de resultados para las matrices pequeñas la eficiencia de formación de grupos tecnológicos es la misma mientras que para matrices grandes de más de 20 máquinas los resultados varían con una escasa mayor eficiencia para la red neuronal que no utiliza parámetros de vigilancia, esto no necesariamente nos dice que sea mejor, al momento de ver el gráfico final se notó que la variación a esta eficacia tan sólo está dada por el acomodo de alguna máquina en particular en diferente posición a las demás.

5.3 Experimentación del simulador

5.3.1 Experimentación distancias por casillas

A continuación se describe la experimentación realizada con el simulador que se presentó anteriormente. Como la primer parte de la experimentación para este simulador se toman en cuenta que las distancias entre máquinas son fijas en casillas las cuales tienen una distancia de 2 metros para cada uno de ellas. Para la experimentación se tomaron cinco diferentes matrices todas ellas de forma experimental las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tamaño	Referencia
4x5	Kusiak
6x11	Inventada
15x15	Yang
20x35	Carrie
40x100	Rajagopalan

Tabla 9 Matrices de experimentación

Para la experimentación se utilizó como medida general para el tiempo de proceso de máquinas una distribución normal de entre 2 y 3 minutos, para casos reales se tendría que modificar en el simulador esta función y reemplazarla por la distribución real o en casos específicos agregar una tabla de distribuciones.

Para el caso de tiempos de transporte de material se tomó en cuenta que cada una de las *casillas* denominadas, así a cada punto de la matriz de ingreso tendría una distancia de 2 metros y esto se sumaría a la distancia que se pretende recorrer hacia la siguiente *casilla* como por ejemplo el siguiente caso:

1	0	1	0	1
0	1	0	1	0
1	0	1	0	0
0	1	0	1	0

Matriz 9 Ejemplo de toma de distancia

Para este ejemplo tenemos que la primera línea que es dada por la primera máquina transportará material a la cuarta línea o cuarta máquina para que realice los procesos 4, dado a que se estimó que cada *casilla* tiene un valor de 2 metros el transportar el material a la máquina 4, tendría una distancia de 8 metros y dado a que una persona normal camina en promedio a 1 metro por segundo el tiempo de traslado de la pieza será de 8 segundos. Este tiempo será sumado al tiempo de procesamiento que oscila entre 2 y 3 minutos y esto será el tiempo total para que la máquina en cuestión pueda ser liberada. También para el tiempo de desplazamiento se tomó en cuenta que el primer proceso tiene materias primas infinitas y que no tiene tiempo de transportación alguno dado a que se realiza para principiar la operación, además para la última operación tampoco se tomó el tiempo de desplazamiento dado a que no existe traslado en el material a ningún lado, en caso de procesos reales se puede incluir el tiempo de traslado de almacén a la primera operación así como el tiempo de traslado de la última operación hacia el área de embarque esto con el fin de hacer más real la simulación.

Una vez ingresada la matriz a simular en su forma binaria y sus tiempos de traslado y de procesamiento se procede a realizar la simulación de la misma matriz en un total de 10 veces a las cuales se les tomará la media y su desviación estándar y se presentarán los resultados de su producción final, su inventario en proceso (WIP), su tiempo total de producción, y su tiempo de desplazamiento.

5.3.1.1 Ejemplo 1 matriz 4 x 5

La primera matriz a experimentar es una matriz de 4 máquinas y 5 procesos la cual se muestra en su forma inicial sin grupos tecnológicos la cual se muestra en la Matriz 10:

0	1	0	1	1
1	0	1	0	0
0	1	0	1	0
1	0	1	0	0

Matriz 10 Matriz inicial

Como se mencionó antes ésta matriz se simuló con un tiempo de procesamiento normal de entre 2 y 3 minutos por proceso además de sus trayectorias de desplazamiento y tiempo, dando como resultado las siguientes gráficas:

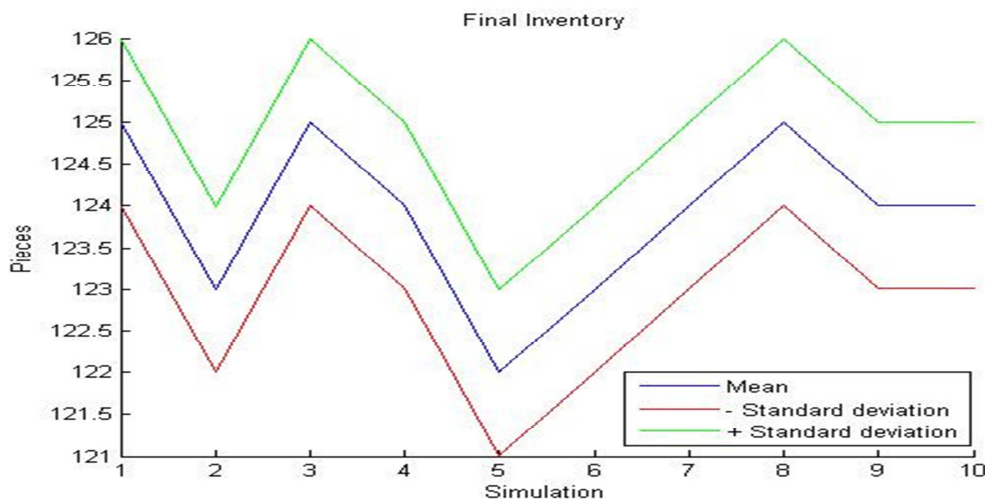


Figura 32 Comportamiento medio del inventario final.

Como se puede observar el comportamiento de las piezas producidas al final es de alrededor de 122 piezas en su media de 10 simulaciones. En la Tabla 10 se muestra su inventario en proceso (WIP) donde se puede determinar en qué máquinas se tiene un cuello de botella como se ve en la tabla 4 para este ejemplo el cuello de botella es generado por la máquina 1 en el proceso 5 dado a que el inventario de la máquina 2 es de 69 y de la máquina 4 es de 55 dando como resultado que la máquina 1 no está produciendo demasiado rápido o produce muy poco del proceso 5 en la tabla se muestra una cantidad

negativa esto indica que en la simulación al finalizar ella alguna vez o varias estuvo la máquina operando al momento de terminar el día.

0	0	0	0	-0.4
0	0	0	69.8	0
0.1	0	0	0	0
0	0.1	0	55.1	0

Tabla 10 Inventario en proceso

En la Tabla 11 se puede ver la carga de trabajo de cada máquina para fines de demostración fácil el resultado obtenido por el simulador que es dado en segundos se transformó a horas para poder hacer un análisis más fácil de la situación. Como se puede observar en la tabla, como en todos los casos mostrados en estos resultados es la media de 10 simulaciones, la máquina 1 trabaja alrededor de 8 horas de las cuales 5 horas las dedican a trabajar en el proceso 5 dado a que es la única máquina que lo puede realizar dado a esto la máquina 3 su carga de trabajo es de casi 5 horas en su proceso 1 dado a que la máquina 1 no realiza casi procesos, mientras que la máquina 2 tiene una carga de 6 horas aproximadamente balanceadas en sus dos procesos y de igual forma la máquina 4 tiene una carga balanceada pero esta alrededor de 4 horas. Dado a que esta simulación está hecha en base a 8 horas nos dice esta tabla que la máquina 4 pasa la mitad del día laboral parada ya sea por el mismo cuello de botella que genera la máquina 1 al momento de no poder realizar el proceso 1 o a la distancia que se recorre hacia esta máquina dada que es la más casillas tiene que recorrer para poder procesar y dado que el simulador está diseñado para que vaya a la siguiente pieza a la máquina más cercana y desocupada.

1.0	0.0	1.8	0.0	5.2
0.0	3.0	0.0	3.2	0.0
4.4	0.0	3.6	0.0	0.0
0.0	2.5	0.0	2.2	0.0

Tabla 11 Carga de trabajo para las máquinas y procesos

Una vez habiendo obtenido estos resultados de la primera matriz se procede a simular la segunda matriz en las mismas condiciones que la primera, pero en este caso se le aplicó una red neuronal para la formación de grupos tecnológicos y de esta forma la nueva matriz a simular se muestra en la Tabla 12.

1	1	1	0	0
1	1	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	0	1	1

Tabla 12 Matriz con grupos tecnológicos

Cuando se hace la simulación de forma igual que las demás realizan 10 simulaciones de 8 horas de trabajo para cada simulación se obtienen la Figura 33 de comportamiento promedio en piezas finales la cual nos arroja un comportamiento de más estable de 123.

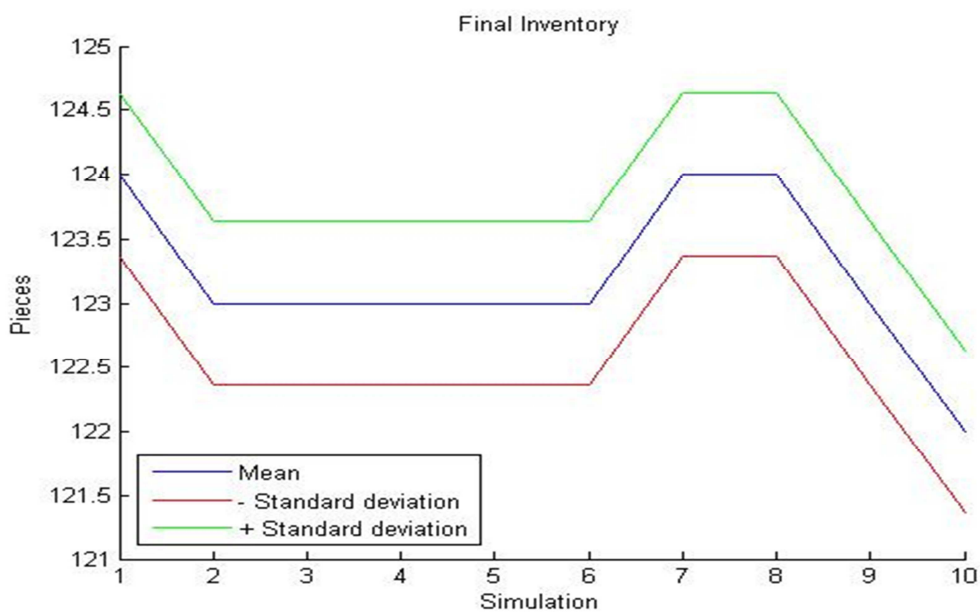


Figura 33 Comportamiento de piezas finales con grupos tecnológicos

Además del pequeño incremento en piezas finales en la Tabla 13 se puede apreciar que sigue el mismo cuello de botella en las máquinas 2 y 4, este disminuyó un poco

alrededor de 4 piezas por cada uno esto dado sólo a la nueva configuración. Como se mencionó anteriormente los números negativos indican que la máquina estaba trabajando al final del turno.

0	0	0	0	0
0.1	0.3	0	0	0
0	0	0	56.1	-0.5
0	0	0	67.8	-0.2

Tabla 13 Inventario en proceso

Al igual que la experimentación sin grupos la carga de trabajo para la máquina 1 es casi entera para el proceso 5 las máquinas 2 y 4 aumentaron un poco la carga de trabajo la cual se muestra en la Tabla 14.

1.4	1.3	5.3	0.0	0.0
3.9	4.1	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	2.4	3.8
0.0	0.0	0.0	3.0	1.3

Tabla 14 Carga de trabajo

En cuanto a la trayectoria de desplazamiento se disminuyó de 58 minutos a 24 minutos con lo cual se disminuyó la mitad del tiempo de trayectoria y eso repercutió en la cantidad de piezas formadas. Aunque para esta matriz siendo pequeña no se puede apreciar mucho el impacto que se le da al formar el grupo pero si esto se traduce a más tiempo de operación como por ejemplo 1 mes estamos hablando que en trayectorias de desplazamiento para esta matriz el ahorro sería de 12 horas esto contando en un sólo turno de 8 horas contando 3 turnos serían 36 horas en sólo el traslado del material. Dado a que ésta matriz es un ejemplo claro de las matrices parcialmente separables donde alguno de los autores recomienda 3 posibles soluciones, la primera aumentar una máquina que realice el proceso, sub-contratar el proceso o separar la máquina en una diferente celda.

5.3.1.2 Ejemplo 2. Matriz 6 x 11

Para el segundo ejemplo de forma igual se utiliza una matriz parcialmente separable la cual muestra en la Matriz 11 en su forma original.

0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1
1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0

Matriz 11 Matriz original

Con los mismos parámetros que la simulación anterior se corre esta matriz dando como resultado la Figura 34 donde se puede apreciar que su producción es de 45 piezas en promedio.

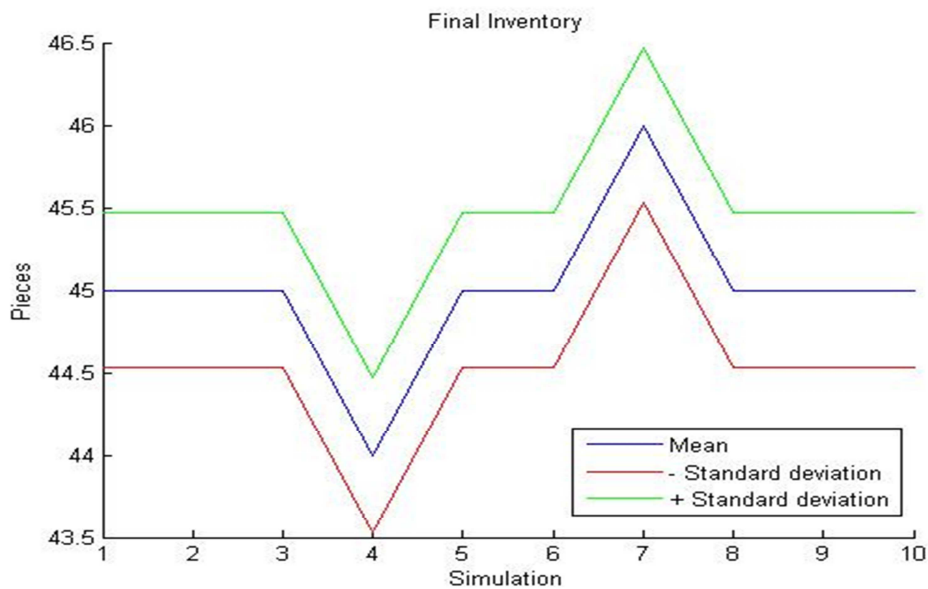


Figura 34 Inventario final sin grupos

En la Tabla 15 se muestra su inventario en proceso donde se puede apreciar que las máquinas 2,3 y 6 tienen problemas de cuello de botella debido a que la matriz es

parcialmente separable y que varias de sus máquinas hacen una serie de procesos que son únicos en especial la máquina 3 que es la única máquina que puede hacer un proceso.

0	0.1	0	0.1	0	0.2	0	0	0	0.3	0
0	0.1	0.3	0	0.1	0	11.3	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	-0.3
0	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0
6.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
88.5	0	0	0	0	0	56.9	0	0	0	0

Tabla 15 WIP

En la Tabla 16 se puede ver la carga de trabajo de las máquinas, donde la máquina 1,5 y 6 tienen 8 horas de trabajo promedio y la máquina 3 tiene 10 horas de trabajo dando como resultado que la máquina 3 es la generadora de cuello de botella para este ejemplo.

0.0	4.4	0.0	1.2	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.9	2.7	0.0	1.9	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	1.9	1.9	1.9
0.0	0.0	2.2	2.6	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.9	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.1	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 16 Carga de trabajo

Por último, se presenta la tabla de desplazamiento en ella se puede observar que el primer proceso y el proceso final no tienen tiempo de distancia, dado a que el tiempo de desplazamiento pasa a la máquina siguiente para este caso, y todos los demás, se tomó que la primera operación tiene un almacén infinito y la última operación es donde se queda la pieza. Donde la operación total de desplazamiento es de 79 minutos por turno trabajado.

0	1010	0	152	0	400	0	0	0	2	0
0	161	221	0	288	0	286	0	0	0	0
0	0	25	0	0	0	0	190	0	0	0
0	0	378	179	0	297	0	0	0	0	0
0	0	0	0	396	0	0	0	0	0	0
0	0	0	241	0	0	519	0	0	0	0

Tabla 17 Tiempos de desplazamiento

A continuación se procede a simular la matriz con la aplicación de grupos tecnológicos con los mismos parámetros la cual se muestra en la Matriz 12 y su gráfica de piezas finales se muestra en la Figura 35. Donde se puede ver que la producción es de alrededor de 46 piezas.

0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1
1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Matriz 12 Matriz con grupos tecnológicos

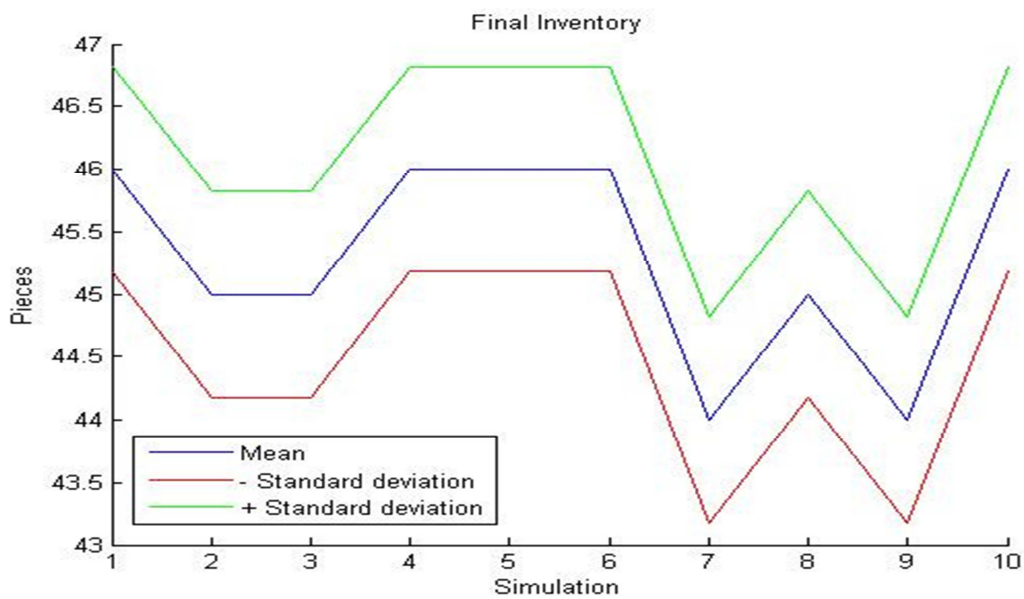


Figura 35 Piezas producidas

Como se ve el aumento en las piezas finales no fue considerable dado a que ésta es una matriz parcialmente separable al igual que su formación anterior el tiempo de traslado fue obtenido dando un total de 76 minutos teniendo como ahorro 3 minutos por turno, 90 minutos al mes por turno.

5.3.1.3 Ejemplo 3 Matriz 15 x 15

Para el ejemplo 3 se utiliza una matriz sacada de la bibliografía (Yang 2007) de tamaño 15 x 15 esta matriz se considera mutuamente separable dado a que sus procesos no interfieren con la división de las celdas y su forma original es mostrada en la Matriz 13.

									1		1			1
	1	1						1				1		
1			1			1	1			1				
	1	1						1				1		
				1	1									1
				1	1									1
				1	1									1
	1	1						1				1		
	1	1						1				1		
									1		1			1
				1	1									1
	1	1						1				1		
1			1			1	1			1				
									1		1			1
				1	1									1

Matriz 13 Matriz sin grupos

Igual que las anteriores simulaciones se corren con los mismos parámetros la simulación para esta matriz donde en la Figura 36 se muestran sus piezas finales que están en promedio de 68 piezas. En la Tabla 18 se muestra el inventario en proceso de esta matriz donde se aprecia que la máquina 5 y 6 son las que acumularon inventario durante las simulaciones con lo cual se puede ver que estas máquinas generan un cuello de botella.

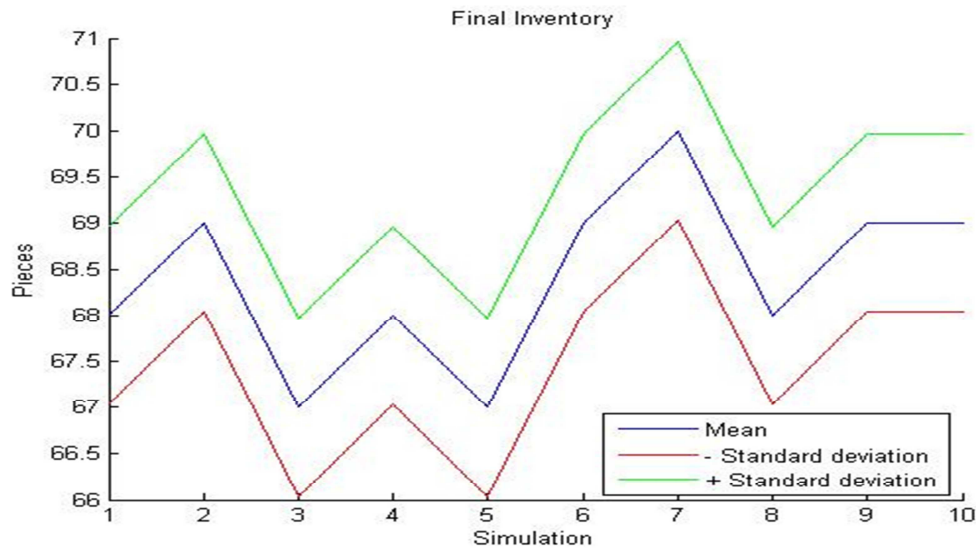


Figura 36 Piezas finales sin grupos

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.7	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.5	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0
0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0

Tabla 18 Inventario en proceso

En cuanto a la Tabla 19 que comprende a las cargas de trabajo de las máquinas se puede apreciar que las cargas en esta matriz están equilibradas y no se puede apreciar que tenga algún cuello de botella. En cuanto al tiempo de desplazamiento de materias primas la simulación nos arroja un total de 2.6 horas en traslado de las piezas.

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	1.7	0.0	0.0	1.5
0.0	1.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0
1.5	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	1.6	1.5	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	1.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0
0.0	0.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0
0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	1.0	0.0	0.0	0.8
0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.6	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	1.7	1.5	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 19 Cargas de trabajo

A continuación se procede a realizar el grupo tecnológico para la matriz quedando como se muestra en la Tabla 19. Como se puede ver en esta tabla no existe matriz parcialmente separable y se forman celdas de manufactura de manera eficaz. En la Figura 37 se observa la producción final de esta matriz donde muestra una salida en promedio de 72 piezas.

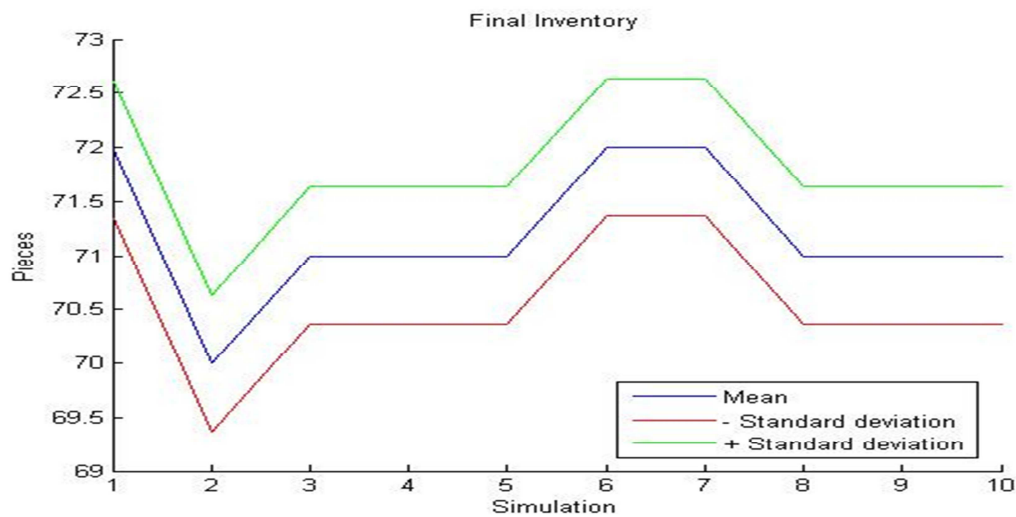


Figura 37 Piezas producidas

													1	1	1
													1	1	1
													1	1	1
					1	1	1	1							
					1	1	1	1							
					1	1	1	1							
					1	1	1	1							
					1	1	1	1							
1	1	1	1	1											
1	1	1	1	1											
										1	1	1			
										1	1	1			
										1	1	1			
										1	1	1			
										1	1	1			

Matriz 14 Matriz con grupos

En la Tabla 20 se muestra el inventario en procesos para esta matriz como se ve nada más existe inventario en las máquinas 1 y 2 de la nueva configuración.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	-0.5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30.9	-0.1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 20 Inventario en proceso

	1																		
					1			1	1										1
1						1	1												
										1	1				1	1			1
					1			1	1										
1						1	1										1		
	1		1									1	1					1	
1							1											1	
					1			1	1										1
	1		1										1						
										1					1	1			1
1		1						1									1		
									1					1	1				1
	1	1											1	1				1	
										1						1			1
											1								
					1	1													
											1								

Matriz 15 Matriz inicial 35 x 20

En cuanto a la Tabla 21 de inventario en proceso se puede ver que la última operación genera un pequeño cuello de botella esto, debido a que la última operación sólo puede ser procesada por 4 máquinas las cuales también realizan otros procesos.

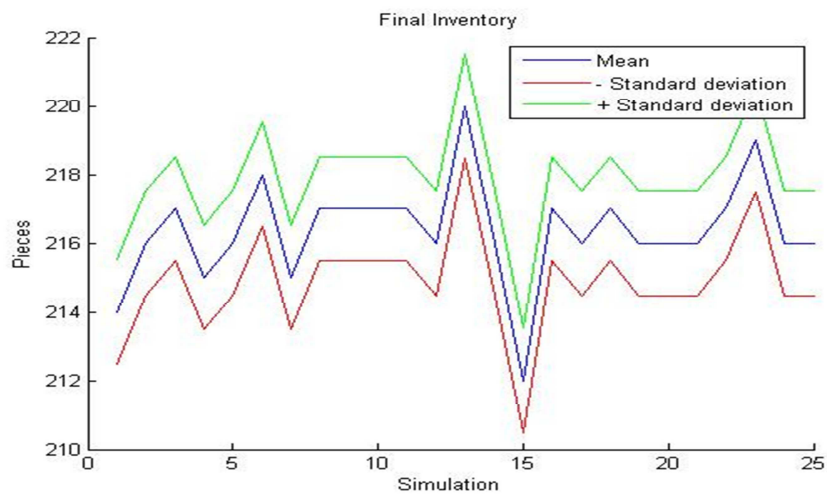


Figura 38 Inventario final

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
4	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
4	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
7	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
7	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
7	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
6	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
6	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
6	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
6	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0

Tabla 21 Inventario en proceso

Para su evaluación con grupos tecnológicos se utiliza la formación mostrada en la Matriz 15 de forma igual se utilizan los mismos tiempos. Como se muestra en la Figura 39

0	0	0	0	0	1	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0

Tabla 22 Inventario en proceso con grupos

5.3.1.5 Ejemplo 5 Matriz 40 x 100

Para el último ejemplo se tomó una matriz la cual contiene 40 máquinas y 100 operaciones la cual se muestra en la Matriz 17, para opciones de espacio la matriz se muestra en su forma invertida. Para este ejemplo se intentó el uso de los mismos parámetros que las simulaciones anteriores tomando como tiempo de proceso una normal entre 2 y 3 minutos y una media de 25 simulaciones. Para estos parámetros el simulador no pudo obtener valores de salida del proceso, es decir, no se pudo realizar ninguna fabricación de alguna pieza, dado a que los parámetros del simulador al tener 8 horas laborales, sólo llega a conseguir inventario en proceso para sus primeros 96 procesos dejando sin trabajar al término de esta a sus últimos 4, cabe destacar que el tiempo de simulación para este ejemplo fue de 48 minutos. Se intentó una nueva simulación esta con 25 corridas del simulador 8 horas de trabajo pero esta vez se disminuyó su tiempo de proceso y se intentó una normal de entre 1 y 2 minutos por proceso, también se modificó la distancia de las casillas en 1 metro en vez de 2 metros que se utilizaron para el resto de las simulaciones, con estos cambios el simulador pudo trabajar de manera más eficiente

también cuando disminuyó su tiempo de simulación a 22 minutos por las 25 simulaciones la gráfica del resultado final de operaciones se muestra en la Figura 40, como se puede ver en la gráfica su salida es de alrededor de 47 unidades en por día laboral, el tiempo de traslado para este ejemplo tiene una media de .8 horas ó 50 minutos. Mientras su inventario en proceso sólo tiene unas pocas piezas en su proceso 99.

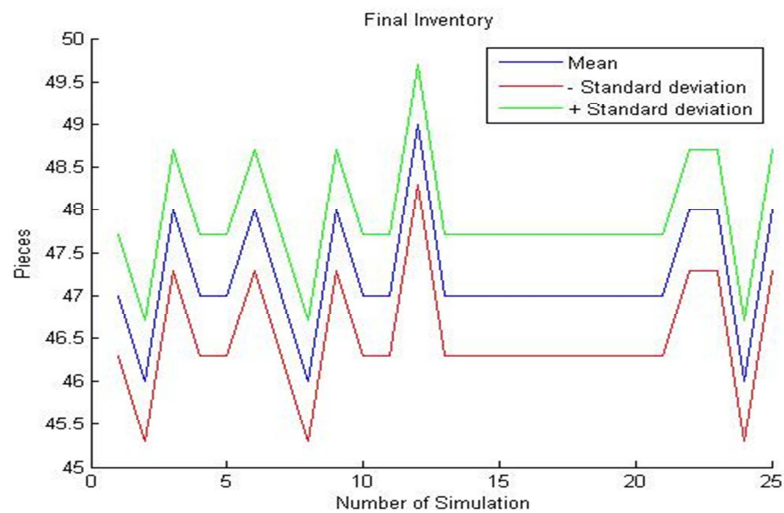


Figura 40 Producción final matriz sin grupos 40 x 100

Para el segundo ejemplo se utilizó grupos tecnológicos sobre la matriz quedando como se muestra en la Matriz 18, al igual que el ejemplo anterior se utiliza un tiempo de proceso de entre uno y dos minutos para cada uno, y su tiempo de desplazamiento es de 1 metro por cada casilla recorrida.

Como se muestra en la Figura 41 su salida de piezas tiene su media en 51 piezas lo cual da un pequeño aumento en las salidas, en cuanto a su inventario en proceso se puede apreciar que el proceso 2 genera un cuello de botella pero no muy grande dado a que el inventario en proceso que se puede distinguir es muy bajo de 5 ó 4 piezas. Siendo el tamaño de la matriz y la tabla de inventario en proceso muy grandes se decidió no mostrarla. En cuanto al tiempo de desplazamiento se puede ver que el tiempo bajó en su media de 50 minutos a 15 minutos dando con esto un ahorro de 35 minutos en traslados.

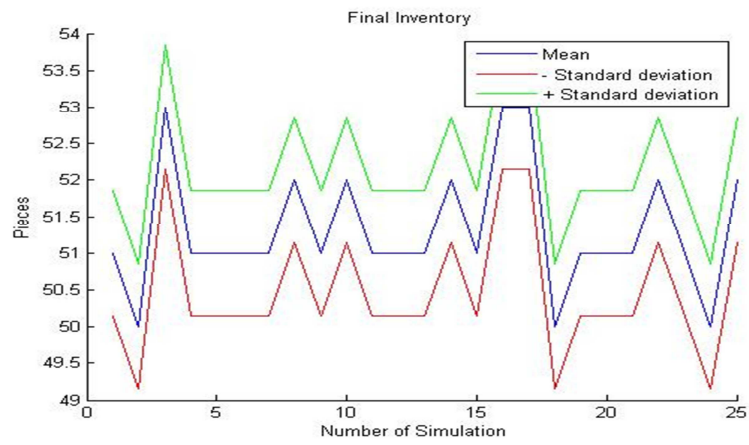


Figura 41 Producción final en matriz con grupos tecnológicos

5.3.2 Experimentación de distancias aleatorias

Para esta parte de la experimentación se decidió a hacer un cambio en las distancias, ahora el programa que generaba las distancias a partir a las casillas de desplazamiento, se cambió por un programa el cual generaba una matriz con distancias aleatorias que van desde 1 metros a 20 metros, lo cual nos dará valores de entre 1 y 20 segundos para el traslado, esta matriz será utilizada por ambas matrices de experimento, la matriz sin grupos y la matriz con grupos, el programa se muestra a continuación:

```

Inicio de ciclo← j=1 hasta total de máquinas
  Inicio de ciclo← i= hasta total de máquinas
    Inicio de condición← si i es igual a j
      Distancia (i, j)=0
    De lo contrario
      Tiempo ← tiempo aleatorio entre 1 y 20 segundos
      Distancia (i, j)= Tiempo
      Distancia (j, i)= Tiempo
    Fin de condición
  Fin de ciclo
Fin de ciclo
Tabla← se crea la tabla de “Distancia” en un archivo de Microsoft Excel

```

Este campo es reemplaza al campo anterior que se muestra en el programa, mencionando que este programa tiene que ejecutarse solamente una vez por cada vez que se cambie la matriz de prueba el cual guardará la matriz de distancia en una hoja de Excel y será leída una vez dentro del programa de simulación.

A continuación se realizarán las mismas pruebas que se efectuaron con anterioridad pero utilizando la nueva matriz.

5.3.2.1 Ejemplo 1 Matriz 4 x 5

Para este ejemplo se utiliza un tiempo de procesamiento de 1 y 2 minutos con un promedio de 25 corridas y su Matriz 19 muestra sus distancias, además en la Figura 42 se puede ver que el comportamiento de ésta en su media de 64 piezas.

0	8	9	15
8	0	15	9
9	15	0	10
15	9	10	0

Matriz 19 Matriz de distancia

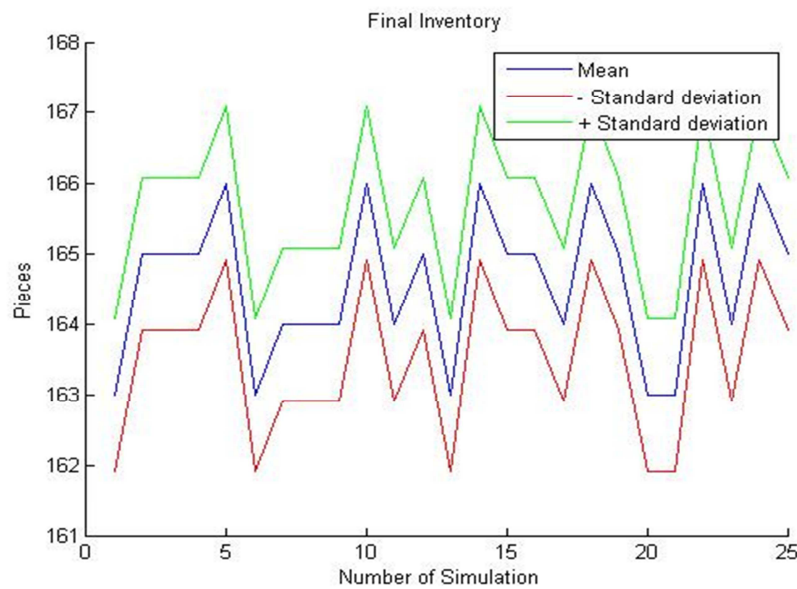


Figura 42 Piezas finales

Así como el primer ejemplo corrido en la primera experimentación su inventario en proceso nos dice que tiene un cuello de botella en su última máquina siendo que su proceso 4 empieza a acumular inventario en proceso, con relación al tiempo de traslado tiene un total de 1.7 horas de traslado para las 25 simulaciones.

Para la segunda matriz se utiliza la misma distancia entre máquinas y los mismos parámetros que la simulación anterior, como se muestra en la Figura 43 el comportamiento

de piezas finales subió a 200 piezas en su media con esto se denota un considerable incremento en la producción final.

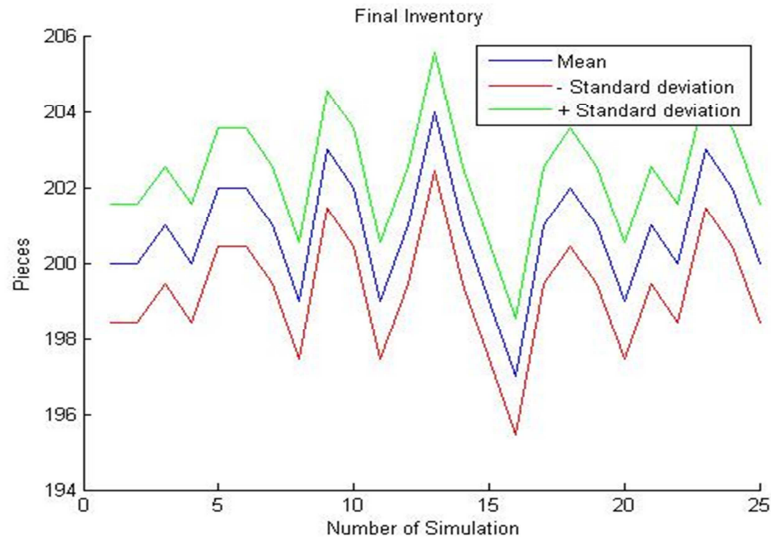


Figura 43 Piezas finales

En cuanto a su inventario en proceso, el proceso 5 sigue generando un cuello de botella, en lo que respecta a sus desplazamientos tiene un total de 1.1 horas en sus 25 simulaciones dando como resultado el ahorro de .6 horas las cuales se vieron reflejadas en su producción final.

5.3.2.2 Ejemplo 2 matriz 6 x 11

Para este ejemplo se utilizó la matriz mostrada en la tabla 9 la cual se utilizó usando los mismos parámetros como el tiempo de proceso variando de entre 1 y 2 minutos y su tabla de distancias (Matriz 20).

0	8	9	7	10	17
8	0	6	6	9	5
9	6	0	2	10	2
7	6	2	0	5	11
10	9	10	5	0	18
17	5	2	11	18	0

Matriz 20 Distancia de desplazamiento

Al ejecutar la primera simulación se da como resultado un promedio de 64 piezas (Figura 44), al igual que se explicó anteriormente esta es una matriz parcialmente separable en todos sus elementos la cual genera cuello de botella en varias de sus operaciones, el tiempo de traslado para sus 25 operaciones es de 2.75 horas.

De forma igual se simula esta matriz con grupos tecnológicos con los mismos parámetros que la simulación anterior 1 y 2 minutos para sus procesos y la misma tabla de desplazamiento.

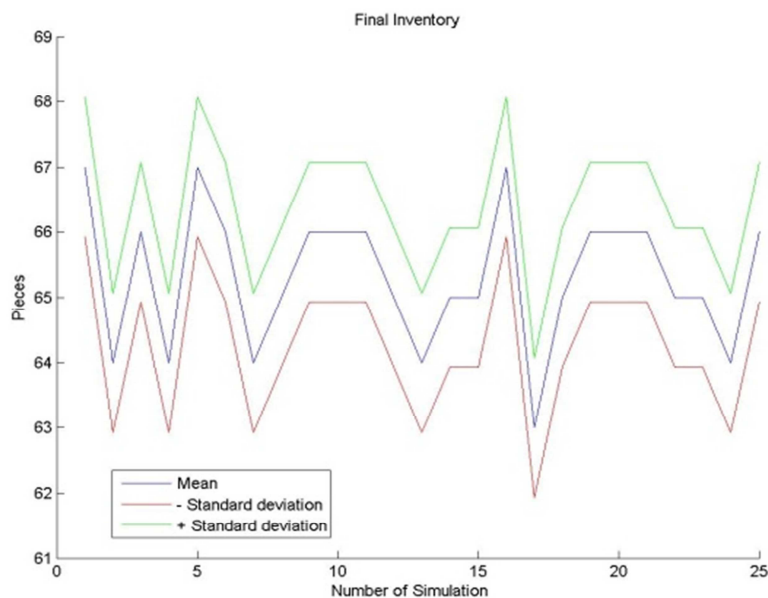


Figura 44 Piezas finales

Una vez hecha esta simulación se puede observar en la gráfica 14 que su promedio de piezas es de 65 piezas, siendo que la mayoría de sus picos están en esta área en comparación que la Figura 45 donde la mayoría de sus picos apuntaban hacia abajo, al igual los cuellos de botella siguen siendo los mismos que las primeras simulaciones, en cuanto a las trayectorias de desplazamiento se pueden observar que en su total de 25 simulaciones obtiene un tiempo de 2.8 horas aumenta, en .1 horas el desplazamiento de material, esto debido a que su matriz es de forma parcialmente separable.

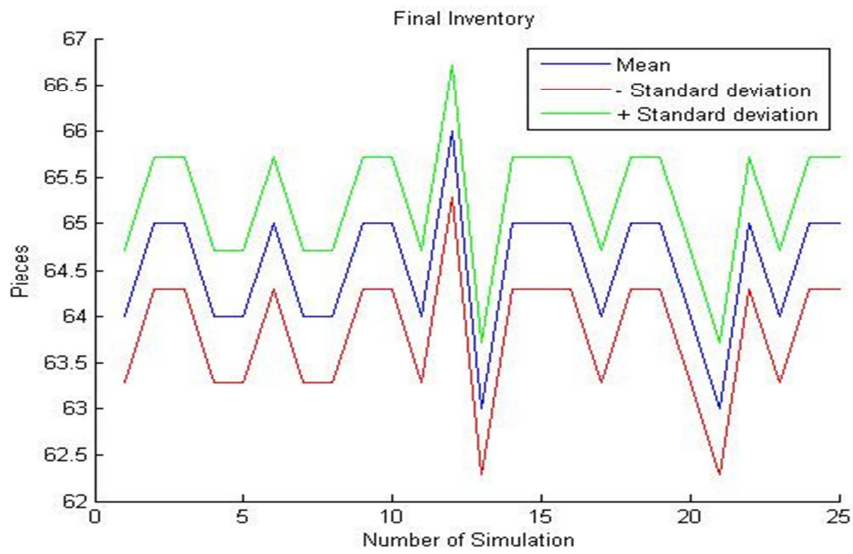


Figura 45 Piezas finales

5.3.2.3 Ejemplo 3 matriz 15 x 15

De igual manera que las dos anteriores simulaciones, se simula una matriz de 15 máquinas con 15 procesos la cual se muestra en la Matriz 13, como las otras simulaciones se toman un tiempo de proceso de 1 a 2 minutos y la Matriz 21 de distancia la cual se utilizó se presenta a continuación.

0	16	13	16	19	17	18	1	5	3	17	10	12	15	11
16	0	4	16	7	6	6	7	18	9	13	10	2	5	11
13	4	0	5	12	16	15	4	4	6	8	7	5	14	17
16	16	5	0	5	6	15	16	17	16	11	18	8	4	16
19	7	12	5	0	19	8	7	11	9	9	8	17	8	13
17	6	16	6	19	0	12	11	20	18	2	3	1	13	8
18	6	15	15	8	12	0	4	2	4	6	16	2	16	16
1	7	4	16	7	11	4	0	9	6	3	8	4	3	11
5	18	4	17	11	20	2	9	0	4	4	6	13	19	8
3	9	6	16	9	18	4	6	4	0	6	9	15	16	19
17	13	8	11	9	2	6	3	4	6	0	3	13	10	18
10	10	7	18	8	3	16	8	6	9	3	0	10	9	11
12	2	5	8	17	1	2	4	13	15	13	10	0	9	13
15	5	14	4	8	13	16	3	19	16	10	9	9	0	12
11	11	17	16	13	8	16	11	8	19	18	11	13	12	0

Matriz 21 Tiempos de desplazamiento

Una vez obtenida la tabla de distancias se procede con la simulación de la matriz, el resultado de las piezas finales se muestra en la Figura 46 la cual tiene comportamiento promedio de 115 piezas, en cuanto al inventario en proceso la última máquina genera un cuello de botella dado la cantidad de piezas en su WIP, (Tabla 23), en cuanto al tiempo de traslado se tiene una media de 3.8 horas.

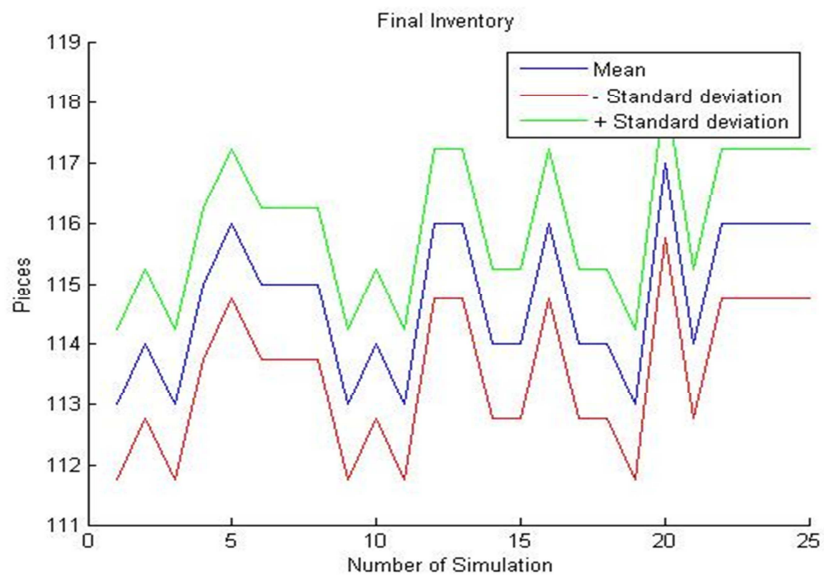


Figura 46 Piezas finales

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0

Tabla 23 Inventario en proceso

Teniendo estos resultados se procede a realizar la simulación de la misma matriz pero ahora con la aplicación de grupos tecnológicos, con esta simulación usando los mismos parámetros de la simulación anterior se puede notar un incremento en las piezas producidas por turno las cuales están alrededor de 121 piezas por turno las cuales se muestran en la Figura 47, en cuanto al inventario en proceso se tiene que la última máquina de igual forma genera un cuello de botella, en cuanto al tiempo de traslado se tiene que disminuyó de 3,8 horas a 1.8 horas dando como resultado el ahorro de 2 horas en traslados.

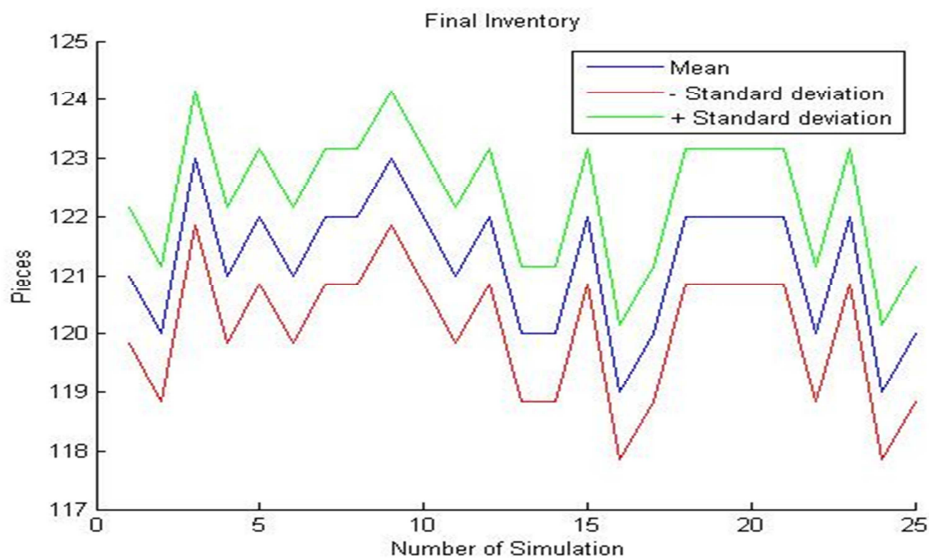


Figura 47 Piezas finales

5.3.2.4 Ejemplo 4 Matriz 35 x 20

Para el cuarto ejemplo se tomó una matriz de 35 máquinas y 20 procesos la cual se muestra en la tabla 19, con los mismos parámetros que son el tiempo de procesamiento de 1 y 2 minutos y una matriz de distancia la cual se muestra en la Matriz 22.

0	11	15	3	10	15	8	6	9	15	13	13	6	9	16	9	3	7	13	7	16	13	18	7	4	12	16	17	5	14	11	16	6	11	9
11	0	18	6	20	13	4	7	13	15	17	15	6	4	9	15	15	9	8	9	20	5	7	6	20	20	10	20	13	4	3	12	19	3	11
15	18	0	14	9	14	18	9	15	2	5	11	1	13	17	6	4	9	2	2	3	17	6	2	9	2	19	8	12	6	5	16	1	15	12
3	6	14	0	16	13	3	5	4	16	12	16	10	17	12	12	15	12	1	6	1	3	20	9	6	17	2	14	1	5	4	13	5	19	12
10	20	9	16	0	5	13	12	15	20	17	19	13	3	17	5	14	12	10	7	15	6	13	8	9	8	16	16	14	17	14	2	11	5	14
15	13	14	13	5	0	20	9	3	13	14	10	17	10	14	6	16	8	2	18	16	17	3	16	6	2	14	16	6	9	4	19	11	15	9
8	4	18	3	13	20	0	11	1	11	7	5	20	12	13	17	13	7	16	4	18	7	19	5	4	3	2	10	5	16	4	9	17	16	18
6	7	9	5	12	9	11	0	15	14	6	16	19	8	16	6	2	9	19	11	3	11	6	15	16	2	9	10	16	6	3	14	19	9	1
9	13	15	4	15	3	1	15	0	12	19	6	7	9	19	16	18	6	3	9	13	11	12	15	17	18	7	7	13	7	11	16	18	10	17
15	15	2	16	20	13	11	14	12	0	12	2	8	19	17	2	13	7	20	7	14	15	3	20	17	1	12	7	11	5	2	6	8	2	2
13	17	5	12	17	14	7	6	19	12	0	13	15	10	13	7	17	15	11	9	2	9	16	14	7	19	14	19	8	1	10	18	12	17	18
13	15	11	16	19	10	5	16	6	2	13	0	12	11	10	12	12	11	5	7	2	15	17	5	12	7	14	17	14	19	9	7	16	6	14
6	6	1	10	13	17	20	19	7	8	15	12	0	20	7	1	7	19	3	16	18	6	3	2	6	16	15	12	7	11	16	20	18	19	12
9	4	13	17	3	10	12	8	9	19	10	11	20	0	19	6	16	6	13	7	5	6	4	11	19	7	2	17	3	15	11	11	14	16	11
16	9	17	12	17	14	13	16	19	17	13	10	7	19	0	20	6	11	6	3	11	14	8	14	13	18	13	18	8	11	18	13	7	18	3
9	15	6	12	5	6	17	6	16	2	7	12	1	6	20	0	20	12	8	7	9	10	11	12	2	6	16	18	17	7	13	19	1	11	10
3	15	4	15	14	16	13	2	18	13	17	12	7	16	6	20	0	7	13	6	10	4	5	12	6	7	12	12	14	20	13	19	18	8	19
7	9	9	12	12	8	7	9	6	7	15	11	19	6	11	12	7	0	11	7	2	17	5	2	12	6	13	8	4	18	3	2	19	8	8
13	8	2	1	10	2	16	19	3	20	11	5	3	13	6	8	13	11	0	10	5	16	16	19	10	9	12	10	16	17	11	6	2	18	17
7	9	2	6	7	18	4	11	9	7	9	7	16	7	3	7	6	7	10	0	11	13	18	17	11	5	8	16	19	16	3	12	18	14	12
16	20	3	1	15	16	18	3	13	14	2	2	18	5	11	9	10	2	5	11	0	12	1	17	15	10	2	3	5	8	16	20	7	17	17
13	5	17	3	6	17	7	11	11	15	9	15	6	6	14	10	4	17	16	13	12	0	17	8	18	11	16	1	5	7	10	16	7	4	16
18	7	6	20	13	3	19	6	12	3	16	17	3	4	8	11	5	5	16	18	1	17	0	19	3	3	10	12	7	17	12	14	3	1	11
7	6	2	9	8	16	5	15	15	20	14	5	2	11	14	12	12	2	19	17	17	8	19	0	11	5	12	8	12	15	12	5	6	5	15
4	20	9	6	9	6	4	16	17	17	7	12	6	19	13	2	6	12	10	11	15	18	3	11	0	4	10	14	18	10	4	14	16	13	8
12	20	2	17	8	2	3	2	18	1	19	7	16	7	18	6	7	6	9	5	10	11	3	5	4	0	1	4	6	18	3	15	12	9	16
16	10	19	2	16	14	2	9	7	12	14	14	15	2	13	16	12	13	12	8	2	16	10	12	10	1	0	4	2	12	19	13	5	13	9
17	20	8	14	16	16	10	10	7	7	19	17	12	17	18	18	12	8	10	16	3	1	12	8	14	4	4	0	13	13	11	15	16	12	15
5	13	12	1	14	6	5	16	13	11	8	14	7	3	8	17	14	4	16	19	5	5	7	12	18	6	2	13	0	16	7	8	20	7	16
14	4	6	5	17	9	16	6	7	5	1	19	11	15	11	7	20	18	17	16	8	7	17	15	10	18	12	13	16	0	2	3	7	18	17
11	3	5	4	14	4	4	3	11	2	10	9	16	11	18	13	13	3	11	3	16	10	12	12	4	3	19	11	7	2	0	4	10	20	17
16	12	16	13	2	19	9	14	16	6	18	7	20	11	13	19	19	2	6	12	20	16	14	5	14	15	13	15	8	3	4	0	12	2	11
6	19	1	5	11	11	17	19	18	8	12	16	18	14	7	1	18	19	2	18	7	7	3	6	16	12	5	16	20	7	10	12	0	15	15
11	3	15	19	5	15	16	9	10	2	17	6	19	16	18	11	8	8	18	14	17	4	1	5	13	9	13	12	7	18	20	2	15	0	18
9	11	12	12	14	9	18	1	17	2	18	14	12	11	3	10	19	8	17	12	17	16	11	15	8	16	9	15	16	17	17	11	15	18	0

Matriz 22 Matriz de distancias

Una vez obtenida la tabla de distancia se procede a realizar la simulación de la matriz sin grupos tecnológicos, dando como resultado la Figura 48 la cual nos muestra que en su comportamiento promedio tiene una producción de 343 piezas, en cuanto al inventario en

proceso se puede apreciar que el proceso 2, 4 y 19 generan un cuello de botella aumentando el inventario en proceso de esta matriz, en lo que a traslados se refiere el proceso por simulación de 8 horas tiene un tiempo de traslado de 47 minutos mientras que en su total de 25 simulaciones tiene un tiempo promedio de 19.7 horas.

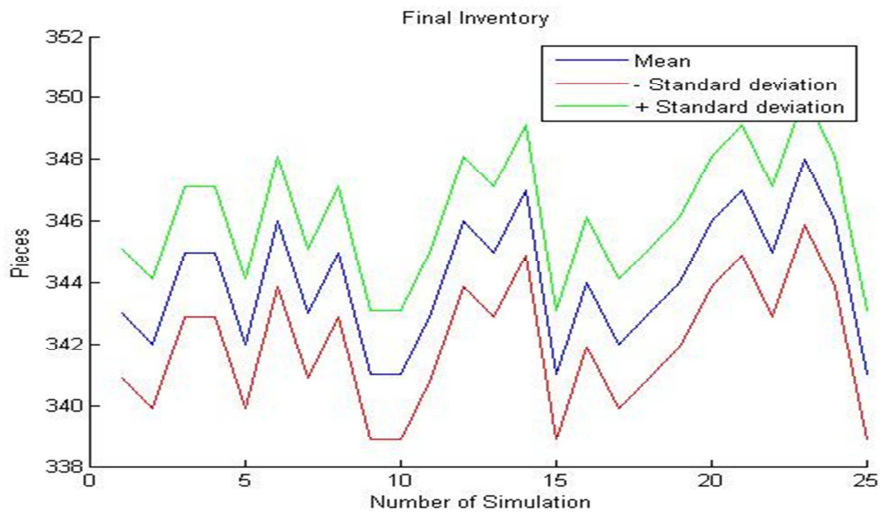


Figura 48 Piezas finales

Una vez ya teniendo los resultados se procede a realizar la simulación a la misma matriz pero ahora con la aplicación de grupos tecnológicos para las distancias y los tiempos de procesamiento se utilizan las tablas antes mencionadas, además del tiempo de 1 y 2 minutos dando como resultado la Figura 49 en la cual se puede ver el comportamiento promedio de piezas finales siendo de 382 piezas en promedio dando con esto un aumento en la producción de piezas finales en cuanto al inventario en proceso se ve una mejoría en los cuellos de botella disminuyendo el WIP en ellos con excepción del último proceso el cual continua con un excedente de piezas en su operación anterior, en cuanto a su tiempo de desplazamiento se obtiene un ahorro de tiempo cuando pasa de cada simulación de 8 horas de 47 minutos a 30 minutos dando un ahorro de 17 minutos por simulación y teniendo un total de 12,8 horas de ahorro para las 25 simulaciones dando como total de ahorro 7 horas para el traslado de materiales.

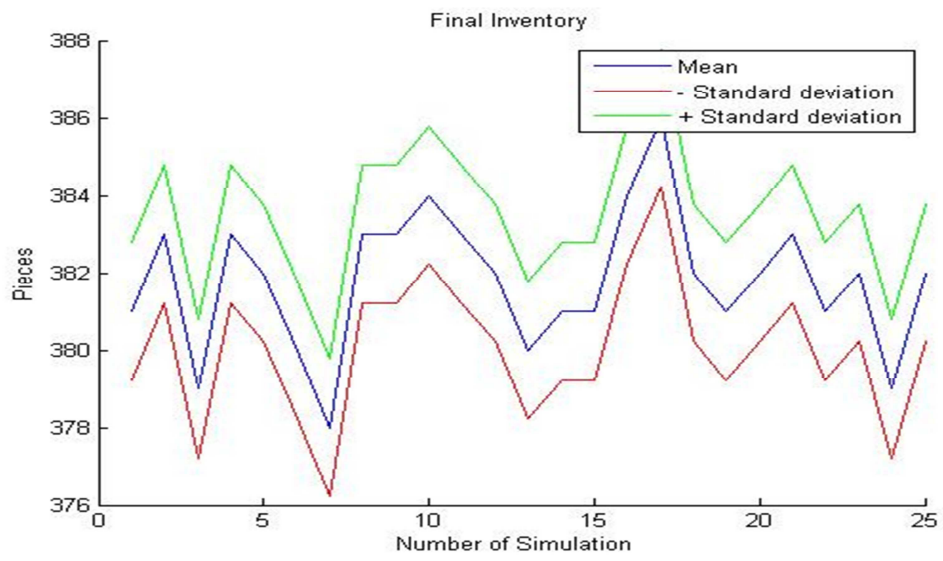


Figura 49 Piezas finales

Capítulo 6

Conclusiones

Durante el desarrollo de la tesis se llegaron a diversas conclusiones, primero se obtuvo la conclusión que las técnicas tradicionales para la formación de celdas de manufactura carecían de varios aspectos importantes como el límite de las variables las cuales representan la cantidad de máquinas y procesos que se pueden incluir en un diseño, la complejidad para realizarse por personal no capacitado, además de estas fallas algunas técnicas sólo toman como consideración el ordenamiento lógico secuencial de operaciones siendo esta muchas veces no óptimo para un proceso de producción, alguna otra técnica basaba todo el ordenamiento en cuanto a costos de localización sin tomar en cuenta las características del proceso, además de estos ejemplos, otra técnica se delimitaba por el ordenamiento, en cuanto a la reducción de distancias físicas solamente trayendo problemas de cuello de botella además de otros.

en base a las dificultades obtenidas de la técnicas basado en la revisión bibliográfica se decidió la creación de una nueva técnica para resolver problemas de celdas de manufactura basada en grupos tecnológicos, la cual tiene en consideración la distancia física que se tiene entre máquinas, la distribución estadística de los tiempos de proceso, el tiempo de ciclo, las trayectorias de desplazamiento, además de tomar la producción final de la línea o celdas de manufactura creadas, además de estos aspectos a tomar en cuenta se consideró que no se tuviera restricción en cantidad de máquinas y procesos que se pueden usar para la formación de celdas de manufactura. A continuación se dará las conclusiones sobre tres diferentes casos el primero de ellos la técnica Hamming, la red neuronal ART modificada y acerca de la metodología propuesta.

Técnica Hamming

Siendo esta técnica de uso manual y dependiendo de una distancia física no es recomendable el uso de ella para matrices mayores a 10 máquinas y 10 procesos siendo que por su forma se puede dar el caso que considere que una máquina sea tomada como dentro de una familia sin necesidad de serlo. Al igual pasa con los procesos estos pueden pertenecer a una familia pero no se parte de ella. Dado a sus diferentes faltas y no siendo capaz de cumplir todos los requerimientos que se plantearon desde un principio esta técnica no se recomienda para la elaboración de grupos tecnológicos.

Red Neuronal ART Modificada

Como primera conclusión acerca de la modificación hecha a la red neuronal ART y comparando con otras modificaciones se puede decir que el parámetro de vigilancia conocido como ρ no afecta en la formación de grupos tecnológicos, como se demostró en el capítulo de resultados, en todo caso aplica lo contrario siendo este parámetro introducido de forma manual en su versión original puede llegar a ser contraproducente dado a que si el parámetro de vigilancia es demasiado pequeño este puede llegar a formar muchas familias en cambio si el parámetro de vigilancia es demasiado grande este puede llegar a formar muy pocas familias lo cual llevaría a que toda la matriz sea considerada como una sola familia, en cuanto a usar una fórmula matemática, como se plantean en la experimentación, ésta puede ser conveniente, sin embargo al usar esta fórmula también existe una introducción manual la cual consiste en el tamaño de la función creciente si el tamaño de esta función no es introducido conforme al tamaño de la matriz esta tiende a crear un parámetro de vigilancia no efectivo para la formación de familias de partes y máquinas, en cuanto a la modificación dado a que no se tiene ningún parámetro introducido manualmente esta forma familias de partes y máquinas de forma eficiente como se demostró en base a las simulaciones realizadas y con las pruebas de eficiencia siendo esta una mejor opción para el desarrollo de GT mediante la aplicación de redes neuronales

artificiales. Esta red neuronal es una técnica eficiente para elaboración de GT sencillos, es decir, sin tomar en cuenta restricciones o reducción de inventario siendo que ella sólo considera una agrupación lógica sin tomar en cuenta otras preocupaciones que puede tener el usuario de GT, sin embargo en cuanto a la experimentación realiza si el usuario sólo busca ampliar la producción sin necesidad de otra solución esta es una técnica excelente para llevar a cabo, debido a que la solución presentada se da en segundos y el tiempo para el uso de la misma es mínimo.

Simulador

Como resultado de esta tesis se obtuvo el desarrollo de un software para la simulación de GT, este software de simulación cuenta con la característica de ser muy sencillo de usar dado a que las condiciones de ingreso de datos son muy sencillas, entrando sólo matrices binarias, además de las distribuciones que pueden ser introducidas normalmente por medio de sus parámetros o utilizarlas por medio del bootstrapping, además de esto el simulador ofrece la versatilidad de trabajar con parámetros de estadística multi-variada, este simulador es capaz de emitir resultados como lo son donde se generarían los cuellos de botella, además de analizar las cargas de trabajo y el movimiento que generan las piezas.

NSGA II Híbrido

Para la metodología del uso del NSGA II Híbrido siendo ésta la metodología propuesta, como primera conclusión se llegó que el uso de un sembrado usando la red neuronal ART modificada contribuye al desempeño del algoritmo ayudándolo a reducir el tiempo además de guiarlo por un camino óptimo para la construcción de celdas de manufactura optimizadas, esto quedó demostrado en el capítulo de resultados, como segunda conclusión de la metodología, se tomó en cuenta el uso de una base de datos para las simulaciones realizadas, cuando se usó el algoritmo sin la base de datos el algoritmo tomaba mucho tiempo para encontrar la solución, integrando la base de datos en caso de haber una simulación igual se tomaban los tiempos antes simulados, con esto el algoritmo tomaba menos tiempo en dar resultados, este tiempo se veía disminuido conforme el

algoritmo evolucionaba, es decir, mientras más generaciones corría más se veía el uso de la base de datos siendo esto algo de esperar, dado a que conforme más generaciones el algoritmo tiende a crear menos diversidad en la población. Otra conclusión a la cual se llegó es la modificación de la selección de torneo generalmente usada por el NSGA II por una selección determinista, es decir, el usuario podrá elegir qué parámetros considerar para la optimización y en qué orden para el propósito de esta tesis se tomó como primer objetivo al maximizar la producción, después de minimizar el inventario en proceso y por último tiempo de traslado, pero el usuario puede decidir en qué orden ejecutar la metodología o agregar más variables a éste, además de tener como resultado una formación óptima de celdas de manufactura esta metodología arroja los resultados de la simulación con esto se puede ver desde antes de realizar algún cambio físico donde se generaran los cuellos de botella y cómo solucionarlos todo esto por medio del simulador antes mencionado en el capítulo de resultados.

Como conclusión final acerca de la metodología como se aprecia en el capítulo de resultados las técnicas clásicas para resolver este tipo de problemas son insuficientes dado a los problemas ya antes mencionados, como una forma rápida y sencilla de resolverlos se recomienda el uso de la red neuronal ART1 modificada ella realiza la solución en cuestión de segundos, pero esta solución sigue siendo no óptima para muchos casos, en cuanto al uso del algoritmo NSGA II por si sólo siendo está una solución optimizada no garantiza que no se puede llegar a mejorar quedando comprobado en el capítulo de resultados que mediante el uso del NSGA II Híbrido la solución que se obtiene es una solución optimizada y de mejor calidad que las otras técnicas analizadas durante el desarrollo de esta tesis.

Aunado a la conclusión llegadas de la metodología se llegó a la aplicación de una patente con número de expediente MX/a/2010/013818 Folio MX/E/2010/079013 para la metodología del NSGA II Híbrido, además de esta patente se desarrolló un software de simulación por separado para grupos tecnológicos este con número de registro 03-2010-121612562500, con el cual se puede simular rápidamente grupos tecnológicos además de

ofrecer resultados de identificación de cuellos de botella este software puede manejar distribuciones multi-variadas que algunos otros en el mercado no ofrecen.

Trabajo futuro

Como trabajo pendiente de la tesis se tiene el agregar más condiciones para ya sea minimizar o maximizar los procesos de creación de celdas de manufactura, además de llevar a cabo una versión de esta metodología a forma de software, donde este sería un software de bajo o poco costo para que las pequeñas y medianas empresas sean capaces de tener una solución a sus necesidades de optimización de su planta de fabricación a bajo costo con la capacidad de operar y competir con software de alto costo en el mercado.

Referencias

Azarang y García (1998). Simulación y Análisis de modelos estocásticos. Ed. Mc Graw Hill 2da. Edition.

Adnan M. Mukattash, Ghaleb Y. Abbasi, Khaldoun K. Tahboub, Mazin Bakir Adil (2007), A modified revised p-median approach to cell formation, International journal of industrial and system engineering volume 2 issue 1, pages 51-60.

Al Jadaan O., Rajamani L., Rao C.R., (2008), Non-dominated ranked genetic algorithm for solving multi-objective optimization problems: NRGGA, Journal of theoretical and applied information technology, vol. 4, issue 1, Pages 60-67.

Berna Ulutaş, Tugba Saraç (2009): "A Clonally Selection Algorithm for Cell Formation Problem with Alternative Routings", International Symposium on Group Technology and Cellular Manufacturing (*GT/CM2009*), Kitakyushu, Japan 16-18 February.

Carrum E. Saláis T. Cantú M. (2004) Grupos tecnológicos en la industria textil: aplicación de técnicas clásicas y redes neuronales, segundo congreso internacional sobre innovación y desarrollo tecnológico, Memorias técnicas IEEE sección Morelos 17-19 Noviembre.

Carrum E., Torres L., Perez P. (2006) Group technology: technique with comparisons, Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference pages 330-335.

Chandrasekharan, M. P, & Rajagopalan, R. (1987). ZODIAC: An algorithm for concurrent formation of part families and machine cells. International Journal of Production Research, Vol. 25 issue 6, Pages 835–850.

Chandrasekharan, M. P., & Rajagopalan, R. (1989). Group ability: Analysis of the properties of binary data matrices for group technology. *International Journal of Production Research*, 27(6), 1035–1052.

Chwea-Tzeag Su, (1995), Fuzzy approach for part family formation, *IEEE/IAS, Conference, Technical memories*, Pages 289-292.

Davis Tom, (1990), Group technology for high-mix printed circuit assembly, *Electronic manufacturing technology symposium, Technical memories*, Pages 264-269.

Deb, K.; Pratap, A.; Agarwal, S.; Meyarivan, T, (2000). A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II, in *proceedings of the parallel problem solving from nature VI conference, Technical memories*, Pages 849-858

El Universal, (2011), PIB de México creció 5.5% en 2010, Ciudad de México lunes 21 de febrero de 2011, *El Universal*.

Enea M., Galante G., (2005), the facility layout problem approached using a fuzzy model and genetic search, *Journal of Intelligent manufacturing*, vol. 116 pages 303-316.

G. Naadimuthu, P. Gultom and E.S. Lee (2010), Fuzzy clustering in cell formation with multiple attributes, *Computers & Mathematics with Applications*, Volume 59, Issue 9, Pages 3137-3147.

Goldberg David, Pelikan Martin, (2006), US Patent, US 7,047,169 B2.

Groover P. Mikell, (2001), *Automation, production systems and computer integrated manufacturing*, Ed. Prentice Hall, 2 Edition, Chapter 15, Pages 420-459.

Grossber & Carpenter, (1987). A massively parallel architecture for a self-organized neuronal partier recognition machine, *Computer Vision*, Vol. 37, Pages 54-115.

Grossber & Carpenter, (1992), Fuzzy art map: A neuronal Network architecture for incremental supervised learning of analog multidimensional maps, *Neuronal Networks IEEE Transaction*, Vol. 3, Pages 698-713.

Hachicha W., Masmoudi, Haddar (2008), Taguchi method application for the part routing selection in generalized group technology: a case study, 4th International conference on advances in mechanical engineering and mechanics, Technical memories.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática INEGI (2010) Situación de la Industria Textil.

Iraj Mahdavi, Mohammad Mahdi Paydar, Maghsud Solimanpur and Armaghan Heidarzade, (2009) Genetic algorithm approach for solving a cell formation problem in cellular manufacturing, *Expert Systems with Applications*, Volume 36, Issue 3, Pages 222-230.

James Tabitha, Brown E. Keeling K. (2007). A hybrid grouping genetic algorithm for the cell formation problem, *Computers & operation Research*, Volume 34, Issue 7, Pages 2059-2079.

John H. Holland (1975), *Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*, University of Michigan Press, Ann Arbor.

King J.R., Nakornchai V., (1982) Machining-component group formation in group technology: review and extension *international journal of production research* volume 20, Issue 2, pages 117-133.

Kumar L., Jain P.K., (2008) part-machine group formation with operation sequence, time and production volume, *International Journal of Simulation Model*, Volume 7, pages 198-209.

Kusiak A. (1987). The generalized group technology concept, *International Journal of production research*, volume 25 issue 4 pages 561-569.

Kusiak A. Chow W. (1998), Decomposition of manufacturing systems, *Journal of robotics and automation*, volume 4, pages 457-471.

Kusiak Andrew (2000), *Computational intelligence in design and manufacturing*, chapter 10 Ed. John Wiley & sons Press, Pages 294-346.

Kyung-Mi Lee; Yamakawa, T.; Keon-Myung Lee; (1997), Machine-part grouping for cellular manufacturing systems: a neural network approach, *First International Conference on Knowledge-Based Intelligent Electronic Systems, 1997. KES '97. Proceedings. Technical memories.*

Li Wang et al., (2010), the coding System for Automatic Injection Mold Integrated Cad/CAPP, *Advanced Materials Research*, 97-101, 3413.

Luis Torres Treviño, Comunicación personal, 23 marzo 2009.

M. Murugan and V. Selladurai (2007), Optimization and implementation of cellular manufacturing system in a pump industry using three cell formation algorithms *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* Volume 35, Numbers 1-2, Pages 135-149.

Manojit Chattopadhyay, Surajit Chattopadhyay, Pranab K Dan, (2010), *Application of Principal Component Analysis in Machine-Part Cell Formation*, Cornell university library, *Nonlinear Sciences, Adaptation and Self-Organizing Systems.*

Mitsuo Gen and Runwei Chen, (2000), *Genetic Algorithms & Engineering Optimization.* Ed. John Wiley & sons Press.

Mohammad Taghi Taghavi-farda, Hassan Javanshira, Mohammad Ali Roueintana and Ehsan Soleimany, (2011), Multi-objective group scheduling with learning effect in the cellular manufacturing system, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, Vol. 2, issue 3, Pages 449.

Qiao Li Hong et al., (2009). Integrated process planning based on 3D product models, *Key Engineering Materials*, Pages 407-408.

Rahimi-Vahed A. R., Mirghorbani S. M., (2007). A multi-objective particle swarm for a flow shop scheduling problem, *Journal of Combination Optimization* Vol. 13 pages 79-102.

Sourav Sengupta, Tamal Ghosh, Pranab K Dan, Manojit Chattopadhyay (2010), *Neural Network Influence in Group Technology: A Chronological Survey and Critical Analysis*, Cornell University Library, Computer Science, Artificial Intelligence.

Welch K, (2006), US Patent, US 7, 076,313 B2.

Wenmerlov U., Hyer N.L (1989), Cellular manufacturing in the U.S. industry: A survey of user, *International journal of production research*, Vol. 27, Pages 1511-1530.

Yang Miin-Shen, Yang Jenn-Hwai (2007), Machine-part cell formation in group technology using a modified ART1 method, *European Journal of Operational Research*, Vol 188, Issue 1, Pages 140-152.

Yanhai Hu, Feifan Ye Zhimei Fang, (2000). A study on the integration of lean production and group technology, *Management of innovation and technology*, Vol. 2, Pages 839-842.

Zitzler Eckart, Laumanns Marco, Thiele Lothar, (2001) SPEA2: Improving the strength Pareto evolutionary algorithm, *Computer engineering and networks laboratory (TIK) - report 103 Sep*.