UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

"SISTEMAS AVANZADOS DE MANUFACTURA Y SU POTENCIAL APLICACION A LA INDUSTRIA MEXICANA"

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA

ESPECIALIDAD DE MATERIALES

PRESENTA:

JOSE OROZCO ROBLES

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.

JULIO DEL 2003

"SISTEMAS AVANZADOS DE MANUFACTURA Y SU POTENCIAL APLICACION A LA INDUSTRIA MEXICANA"

J. O. R.

TM
Z5853
.M2
FIME
2003
.076
ZAUS

1020149164

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

"SISTEMAS AVANZADOS DE MANUFACTURA Y SU POTENCIAL APLICACION A LA INDUSTRIA MEXICANA"

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA
MECANICA
ESPECIALIDAD DE MATERIALES

PRESENTA:

JOSE OROZCO ROBLES

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.
JULIO DEL 2003

981059

TM
Z5853
.M2
FIME
2003
.076

FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
División de Estudios de Postgrado

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis "Sistemas Avanzados de Manufactura y su Potencial Aplicación a la Industria Mexicana" realizada por el alumno José Orozco Rooles con matrícula número 0255526 sea aceptada para su defensa como opción al Grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica en la Especialidad de Materiales.

Atentamente

ASESOR
M.C. Roberto Villarreal Garza

CO-ASESOR
M.C. Xéchitl Maldonado Valadez

CO-ASESOR
M.C. Vicente García Díaz

Vo. Bo.

Dr. G Alan Castillo Rodríguez
Sub-Director de la División de Estudios de Postgrado

Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L. a 25 de Junio de 2003.

"SISTEMAS AVANZADOS DE MANUFACTURA Y SU POTENCIAL APLICACIÓN A LA INDUSTRIA MEXICANA"

TESIS QUE PRESENTA

JOSÉ OROZCO ROBLES

A LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIDAD DE MATERIALES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N.L. MÉXICO

JULIO DE 2003

TABLA DE CONTENIDO

	Página
Resumen	iii
Reconocimientos	iv
Dedicatorias	v
Lista de tablas	vi
Lista de figuras	vii
Glosario de términos	viii
Capítulo 1.0 Marco general de tesis: antecedentes, definición del problema, justificación del tema de tesis, hipótesis y objetivos, alcance y limitaciones	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Definición del problema	3
1.3 Justificación del tema de tesis	3
1.4 Hipótesis y objetivos	4
1.5 Alcance y limitaciones	5
Capítulo 2.0 El entorno de negocios y su relación con la manufactura	7
2.1 Entorno de negocios	8
2.2 Procesos de negocio	11
2.3 Procesos de manufactura	12
2.4 Procesos de soporte a la manufactura	14
2.5 Clasificación de procesos de manufactura	16
Capítulo 3.0 El ambiente de manufactura	17
3.1 Enfoque de sistemas	18
3.2 Conceptos fundamentales	19
3.3 Tipos de problemas de manufactura	20
3.4 Métodos de solución de problemas de manufactura	22
Capítulo 4.0 Recursos avanzados de manufactura	24
4.1 Elementos básicos de los sistemas avanzados de manufactura	25
Capítulo 5.0 Características generales de los sistemas avanzados de manufactura	31
5.1 Tecnología de grupo	32
5.2 Manufactura celular moderna	33
5.3 Sistema de manufactura flexible (Flexible Manufacturing System)	35
5.4 Sistema de manufactura esbelta (Lean Manufacturing)	46
5.5 Sistema de manufactura de clase mundial seis sigma (Six Sigma World Class Manufacturing System)	50
5.6 Sistema de manufactura integrado por computadora (Computer Integrated Manufacturing System)	67
Capítulo 6.0 Métodos matemáticos usados en la manufactura	94
6.1 Tratamiento matemático del problema clásico de ensamble en la manufactura	95
6.2 Tratamiento matemático del problema clásico de la comunicación en la manufactura	102
Capítulo 7.0 El estado del arte en la manufactura	107
7.1 El estado del arte de los recursos de manufactura en el ambiente industrial	108
Capítulo 8.0 Casos de aplicación de los sistemas avanzados de manufactura	124
8.1 Caso de aplicación del sistema de manufactura flexible	125
8.2 Caso de aplicación del sistema de manufactura esbelta	134
8.3 Caso de aplicación del sistema de manufactura de clase mundial seis sigma	141
8.4 Caso de aplicación del sistema de manufactura integrado por computadora	148
Capítulo 9.0 Análisis comparativo de los sistemas avanzados de manufactura	153
9.1 Tabla comparativa de las características relevantes de los sistemas avanzados de manufactura	154
9.2 Tabla comparativa de los niveles de mejora promedio y máximo típico	156
Capítulo 10.0 Conclusiones acerca de los sistemas avanzados de manufactura	158
10.1 Conclusiones generales	159
10.2 Conclusiones particulares	162
Apéndice: El estado del arte en el ambiente académico	168
Bibliografía	174

M.C. Roberto Villarreal Garza
Asesor de Tesis

Físico José Orozco Robles
Autor de Tesis

RESUMEN

El ambiente de competitividad mundial obliga a la micro, pequeña y mediana empresa mexicana a su modernización tecnológica en el menor tiempo posible, como único recurso de sobrevivencia. Los Sistemas Avanzados de Manufactura: Celular, Flexible, Esbelta, Seis Sigma e Integrado por Computadora han sido utilizados en los últimos 30 años por empresas exitosas en las economías más avanzadas del mundo. El presente trabajo es una investigación documental acerca de los Sistemas Avanzados de Manufactura citados y reportes breves de casos de aplicación en México y en los Estados Unidos de América. Se analiza cada uno de los sistemas y se establece el criterio de comparación basado en tres elementos evaluables: costo, calidad y tiempo de ciclo. Aunque ninguno de los sistemas tratados resuelve el problema de los tres elementos, fueron encontradas evidencias suficientemente sólidas que permiten identificar, al Sistema de Manufactura Avanzada Seis Sigma, como el más conveniente para su aplicación en nuestra industria. Sin embargo, se concluye que el uso de recursos avanzados de manufactura y la aplicación de estrategias de los sistemas restantes son necesarios para resolver el problema integral de costo, calidad y tiempo de ciclo. Se propone, un sistema con la aplicación de las mejores estrategias de cada uno de los sistemas de manufactura avanzada presentados, como solución preliminar y de alto potencial para el tamaño de empresas citadas.

RECONOCIMIENTOS

Deseo expresar mi mayor agradecimiento a quiénes contribuyeron desinteresadamente a la realización del presente trabajo:

Expreso mi gratitud a mi asesor el M.C. Roberto Villarreal Garza por sus consejos y orientación para realizar esta tesis, por la confianza que me brindó para desarrollar los contenidos y que muy a pesar de su vastísima experiencia académica y profesional, supo mantener la humildad, paciencia y tolerancia hacia un aprendiz en el campo que él domina ampliamente.

Estoy en deuda con el Dr. Alan G. Castillo Rodríguez. Subdirector de Postgrado de FIME, por todo su apoyo y comprensión porque sin su ayuda no hubiese finalizado una meta académica. Al Dr. Ubaldo Ortiz, Director General de Postgrado de la U.A.N.L., por haberme concedido una oportunidad para realizar mis estudios de maestría. También agradezco al Dr. Carlos Guerrero, Coordinador de maestría, por alentarme en el camino de la superación académica.

A la Srita. Lic. Elizabeth García Lara, del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, por todo el acervo bibliográfico que me permitió utilizar, por el material de consulta que oportunamente me fue facilitado y por la información que dispuso para contactar a los autores de los proyectos.

Con gratitud a la M.C. Margarita María Sánchez Bours de la Universidad de Sonora, al M.C. José Edmundo González de la Torre del ITESM y al M.C. Zenón Araujo Sánchez de Hylsa, S.A. de C.V. por la información confidencial que utilicé de sus proyectos.

Al Sr. Ing. Florencio de León Tamez, Gerente General de Servicios Industriales Mecánicos Eléctricos, S.A de C.V. por el amplio e incondicional soporte y consideraciones que recibí durante la elaboración de la presente tesis.

Al Sr. Ing. Hugo de la Garza García, Gerente General de Sercomi, S.A de C.V. por todas las facilidades computacionales que me obsequió. Asimismo, deseo reconocer el trabajo de la Srita. Lic. Dora María Benavides, Gerente de Ventas de la empresa Nueva Tecnología en Internet, S.A. de C.V. quién me apoyo en la selección gráfica y en la edición de imágenes. Estoy en deuda con la Srita. Lic. Adriana Villarreal-Gómez de la U.A.N.L. por su ayuda y orientación didáctica y pedagógica para la selección final del material y extensión de los capítulos.

Un reconocimiento con gran admiración y respeto a:

Dr. Dorian Shainin ($^{+}$2000) del Massachusetts Institute of Technology –University of Connecticut-Shainin Consultants, Inc.
Dr. Keki R. Bhote de Illinois Institute of Technology y Motorola Co.
Dr. George E. P. Box de University of Michigan, University of Wisconsin-Madison.
Dr. Genichi Taguchi de Kyushu University,University of London, UK.
Dr. Donald B. Owen ($^{+}$1991) de la Southern Methodist University- Dallas, Texas
Dr. Salvador Borrego de la Southern Methodist University- Dallas, Texas y de SABA Consultores, México

Por todo lo que aprendí en sus seminarios avanzados, en nuestras conversaciones (casi monólogos) y en su material bibliográfico que me obsequiaron estas privilegiadas mentes del quehacer científico; pero sobre todo, por su sencillez y gran calidad humana.

A mi esposa Hortensia
por su infinita generosidad y por darle sentido a mis propósitos

A mis hijos José Daniel y Karina Ivett
por todo lo que significan en mi vida.

LISTA DE TABLAS

	Página
2.3.1 La manufactura a través del tiempo	13
3.3.1 Tipo de problemas en la manufactura	21
5.5.1 Valores importantes de Cpk	54
5.5.2 Intervalo de σ y sus defectos en ppm	56
5.6.1 Tabulador comparativo de las bases de datos	76
5.6.2 Beneficios de un FMS dentro de un SMIC	79
8.1.1 Subrutinas de programación de robots	129
8.1.2 Resultados de simulación	131
8.1.3 Criterios comparativos entre FMS vs otros sistemas	131
8.2.1 Agrupación por afinidad	137
8.2.2 Modelo operativo de Manufactura Esbelta	137
8.2.3 Técnicas utilizadas en Manufactura Esbelta	139
8.2.4 Resultados comparativos Planta Base vs Planta Nueva	141
8.3.1 Variables de proceso (factores)	143
8.3.2 Datos de experimento factorial completo 2^4	144
8.3.3 Resultados de experimentos	146
8.3.4 Resultados de análisis de varianza	147
8.4.1 Tipos de conexión entre puntos de enlace SMIC	150
9.1.1 Características del Sistema Flexible de Manufactura	154
9.1.2 Características del Sistema de Manufactura Esbelta	154
9.1.3 Características del Sistema de Manufactura Seis Sigma	155
9.1.4 Características del Sistema de Manufactura Integrado por Computadora	155
9.2.1 Factores de mejora promedio y típico	156
9.2.2 Referencias comparativas entre sistemas de manufactura	157

LISTA DE FIGURAS

	Página
3.1.1 La manufactura como un sistema	18
5.2.1 Celda moderna de manufactura	34
5.3.1 Configuración en linea de un FMS	42
5.3.2 Configuración en ciclo de un FMS	43
5.3.3 Configuración en escalera de un FMS	43
5.5.1 Diagrama parcial de las estrategias para reducción de variación	63
5.6.1 Diagrama típico de un control jerárquico en un SMIC	79
6.1.1 Proceso de inserción de espiga-orificio	96
6.1.2 Relación de ángulo de aproximación y longitud de penetración	98
6.1.3 Ciclo de vida de la inserción espiga-orificio	98
6.1.4 Diagrama de cuerpo de fuerzas actuantes y momentos	99
6.1.5 Contacto de espiga en interior de orificio	100
6.1.6 Contacto de espiga en esquina de orificio	100
6.2.1 Detector de colisiones de acceso múltiple	103
6.2.2 Desempeño de la red Ethernet®	106
7.1.1 Equipos CNC	109
7.1.2 Equipos CNC	110
7.1.3 Robots SCARA	111
7.1.4 Microingeniería con equipos SMD	112
7.1.5 Transportadores planos	112
7.1.6 Transportadores adaptados	113
7.1.7 Transportador de cubierta	113
7.1.8 Tecnología de grupo en líneas de transferencia	114
7.1.9 Sistemas de almacenamiento	114
7.1.10 Sistemas de carga unitaria	115
7.1.11 Sistemas de almacenamiento de alta velocidad	115
7.1.12 Vehículo de transferencia (STV)	116
7.1.13 Vehículo guiado (AGV)	116
7.1.14 Sistemas de transporte mono-riel	117
7.1.15 Manejo de material	117
7.1.16 Sistemas de almacenamiento vertical	118
7.1.17 Almacenadores especiales	118
7.1.18 Robots GM Fanuc	119
7.1.19 Robots en patios de espera	119
7.1.20 Robot en celda de manufactura–pintado	120
7.1.21 Robot para recubrimiento con plasma	120
7.1.22 Robot cargando linea de pallets	120
7.1.23 Robot paletizando cajas pequeñas	120
7.1.24 Robot para inyección de plástico	121
7.1.25 Robot para limpieza a vapor y tratamiento galvánico	121
7.1.26 Software de simulación	121
7.1.27 Software para peletizado	122
7.1.28 Diseño simulado por computadora	122
7.1.29 Sensores para diversas aplicaciones	123
7.1.30 Sensores	123
8.1.1 Distribución de un FMS	127
10.2.1 Esquema para aplicación de criterios	167

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Pallets.
Arreglos de piezas en plataformas especiales para ser manejadas en un proceso.

Magazine.
Compartimiento diseñado para contener un conjunto de herramentales de aplicación en serie o alternada.

Benchmarking.
Del vocablo inglés *benchmark* (prueba patrón que se refiere a la comparación de un proceso, producto, servicio o método contra el que se considera el mejor en el estado del arte) y se refiere a la actividad de compararse con el mejor en el campo en cuestión.

JIT (Just in Time).
Se dice del proceso que permite producir un producto mediante el uso de contenedores con reposición de lote de partes, llamado sistema Kanban. Es un sistema que en Ingeniería Industrial se conoce como abastecimiento por demanda (pull system).

FMS.
Acrónimo de Flexible Manufacturing System o en español Sistema de Manufactura Flexible.

SMIC.
Acrónimo de Sistema de Manufactura Integrado por Computadora.

Lean Manufacturing System.
Sistema de Manufactura Esbelta.

Six Sigma World Class Manufacturing System.
Sistema de Manufactura de Clase Mundial Seis Sigma.

SS.
Acrónimo de Seis Sigma.

Facilities
Conjunto de recursos como espacios, construcciones, máquinas, equipos y materiales.