

Jack C Chaplin · Claudia Pagano
Santi Fort *Editores*

Introducción a la
Fabricación Digital
para Pymes



Editores

Jack C Chaplin
Instituto de Fabricación Avanzada
Universidad de Nottingham
Nottingham
UK

Claudia Pagano
Instituto de Tecnologías y Sistemas
Industriales Inteligentes para la
Fabricación Avanzada
Consejo Nacional de Investigación
Milán
Italia

Santi Fort
Eurecat
Barcelona
España



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

“El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye un respaldo del contenido que refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en ella”

ISBN: 978-0-85358-340-0

© Los Editores (si es aplicable) y los Autores 2020, 2021. Este libro se publica en acceso abierto.

Respecto a la edición en castellano del libro: Esta edición en castellano se deriva de la edición inglesa del libro “Digital Manufacturing for SMEs” de los mismos editores y autores, de aquí que puedan encontrarse algunos diagramas en inglés. Se ha introducido explicaciones complementarias para facilitar su comprensión. Algunos términos se han mantenido en inglés por ser su uso común.

Acceso Abierto Este libro se distribuye bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso, duplicación, adaptación, distribución y reproducción en cualquier medio o formato, siempre que otorgue el crédito apropiado al autor o autores originales y la fuente, se proporcione un enlace a la licencia Creative Commons y se indique cualquier cambio realizado.

Las imágenes u otro material de terceros en este libro están incluidos en la licencia Creative Commons del trabajo, a menos que se indique lo contrario en la línea de crédito; Si dicho material no está incluido en la licencia Creative Commons del trabajo y la acción respectiva no está permitida por la normativa legal, los usuarios deberán obtener el permiso del titular de la licencia para duplicar, adaptar o reproducir el material.

El uso de nombres descriptivos generales, nombres registrados, marcas comerciales, marcas de servicio, etc. en esta publicación no implica, incluso en ausencia de una declaración específica, que dichos nombres estén exentos de las leyes y reglamentos de protección pertinentes y, por lo tanto, libres para uso general.

Los autores y los editores asumen que los consejos y la información incluida en este libro se consideran verdaderos y exactos en la fecha de publicación. Ni los autores ni los editores otorgan una garantía, expresa o implícita, con respecto al material contenido en este documento o por cualquier error u omisión que se haya cometido.

Prólogo

La industria manufacturera está presenciando actualmente una transformación a medida que se mueve cada vez más hacia la Fabricación Digital, a menudo conocida y como Industria 4.0, Fábrica Inteligente del Futuro. Ofrece oportunidades para que las empresas desarrollen nuevos productos y formas de trabajar a la vez que reducen los costos. Sin embargo, muchas personas y organizaciones, en particular las PYME, tienen dificultades para acceder a información clara y útil sobre la fabricación digital.

Este libro tiene como objetivo proporcionar a las PYME y otros usuarios una introducción a la fabricación digital. Ha sido compilado por expertos que son miembros del consorcio del proyecto ERASMUS+ Digit-T: Digital Manufacturing Training System for PyME (2017-1-UK01-KA202-036807). Esto incluye la Universidad de Nottingham, el Instituto de Tecnologías Industriales Inteligentes y Sistemas para la Fabricación Avanzada (STIIMA-CNR), EURECAT (Centro Tecnológico de Cataluña) y AFIL.

Este libro recopila contribuciones del campo de la fabricación digital y complementa un curso de formación en línea gratuito desarrollado por el consorcio Digit-T que se puede encontrar en <https://training.digit-t.eu/>.

Este libro está dividido en 3 partes:

Parte I: Gestión en la Industria 4.0 tiene como objetivo proporcionar una comprensión básica de los conceptos, tendencias y tecnologías clave que caracterizan a la Industria 4.0. Además, considera el proceso de roadmapping que puede ayudar a una empresa a priorizar y planificar su propia transformación digital. Finalmente, se considera el impacto de la Industria 4.0 en la gestión de recursos humanos, discutiendo la evolución y “buy-in” requerida en la fuerza de trabajo, tanto líderes como empleados, lo cual es esencial para que una empresa pueda pasar con éxito a una “Fábrica Inteligente”.

Parte II: Sistemas de Manufactura introduce los conceptos de análisis de fabricación y toma de decisiones y los divide en procesos formales que se pueden seguir. Comienza introduciendo la toma de decisiones convencionales: métodos para analizar sistemas y redes de fabricación para calcular indicadores clave de rendimiento o identificar áreas de preocupación. Las limitaciones de estos métodos se discuten antes de pasar a discutir métodos modernos para el análisis de sistemas

de fabricación, utilizando modelos y simulación fuera de línea y gemelos digitales integrados de última generación y sistemas de apoyo a la decisión.

Parte III: La sección *robótica inteligente* comienza explicando la robótica en general, los diferentes tipos de robots que existen, y proporcionando una introducción simple a la terminología del robot, sus diferentes estructuras, sus componentes y aplicaciones. El impacto de la Industria 4.0 en la robótica se considera entonces e incluye discusiones sobre Sistemas Ciber-Físicos, robots colaborativos que apoyan la colaboración humano-robot, microrrobótica y robots móviles. Por último, se considera la Inteligencia Artificial y las cuestiones éticas asociadas a los sistemas autónomos.

Este libro está diseñado para ser de interés para gerentes, ingenieros, investigadores, estudiantes y trabajadores que operan o tienen interés en el sector de la manufactura y que desean obtener una comprensión general del área de fabricación digital e Industria 4.0.

Esperamos haber logrado este objetivo.

Jack C Chaplin, Nottingham, Reino Unido

Claudia Pagano, Milán, Italia

Santi Fort, Barcelona, España

Contenido

Parte I Gestión en la Industria 4.0

1	Conceptos fundamentales de la Industria 4.0	5
2	Implementación estratégica	31
3	La gente y el Centro de I4.0	67

Parte II Sistemas de fabricación

1	Análisis de sistemas de fabricación	91
2	Modelado digital y simulación de sistemas de fabricación	135
3	Gemelos digitales y toma de decisiones inteligente	173

Parte III Robótica Inteligente

1	Robots Industriales 4.0	209
2	Componentes robóticos	233
3	Industria 4.0 en Robótica	251

Acrónimos

1D	unidimensional
2D	Dos dimensiones
3D	Tres dimensiones
5S	Seiri (Ordenar), Seiton (Establecer en orden), Seiso (Brillo), Seiketsu (Estandarizar) y Shitsuke (Autodisciplina)
5G	Protocolos celulares de quinta generación
6LowPAN	Protocolo de Internet versión 6 sobre redes de área personal inalámbricas de baja potencia
CA	Corriente alterna
ADKAR	Conciencia, Deseo, Conocimiento, Acción, Refinamiento (del inglés Awareness, Desire, Knowledge, Action, Refinement)
AGV	Vehículo guiado automatizado
AHP	Proceso de jerarquía analítica
AI	Inteligencia Artificial
AIDC	Identificación automática y captura de datos
AMM	Montar-Medir-Mover
ANN	Red Neuronal Artificial (del inglés Artificial Neural Network)
API	Interfaz de programación de aplicaciones
AR	Realidad Aumentada
AS/ES	Estándar aeroespacial/estándar europeo
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
B2C	De negocio o empresa a consumidor
BI	Inteligencia (referente a información) de negocios
CAD	Diseño asistido por ordenador
CAE	Ingeniería asistida por ordenador
CAM	Fabricación asistida por ordenador
CAN	Red de área de controlador
CAPP	Planificación de procesos asistida por ordenador
CAT	Tolerancia asistida por ordenador
CD-DSS	Sistema de apoyo a la toma de decisiones impulsado por las comunicaciones
CDO	Director Digital

CEN	Comité Europeo de Normalización
CENELEC	Comité Europeo de Normalización Electrotécnica
CEO	Director Ejecutivo
CFRP	Plástico reforzado con fibra de carbono
CL	Línea central de un gráfico de control
CMM	Máquina de medición de coordenadas
CMR	Rastreador Móvil Robot
CNC	Control numérico del ordenador
Cobot	Robot colaborativo
CPDMS	PolyDiMethylSiloxane capacitivo
CPS	Cyber Sistema Físico
CRM	Gestión de la relación con el cliente
CSV	Valores separados por comas
DAM	Modelos de análisis de decisiones
DBMS	Sistema de gestión de bases de datos
DD-DSS	Sistema de apoyo a la toma de decisiones basado en datos
DDS	Servicio de distribución de datos
Desarrollo	Simulación de eventos discretos
DfA	Diseño para montaje
DfM	Diseño para la fabricación
DIS	Proyecto de Norma Internacional
DMS	Sistema de fabricación dedicado
DOF	Grado(s) de Libertad
DSS	Sistema de apoyo a la decisión
EAS	Sistema de montaje evolucionable
EASA	Agencia Europea de Seguridad Aérea
EBITDA	Ganancias antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización
EMC	Compatibilidad electromagnética
EN	Emitido por CEN
ERP	Planificación de recursos empresariales
ESB	Autobús de servicio empresarial
EtherCAT	Ethernet para la tecnología de automatización de control
ETL	Extraer, Transformar, Cargar
Euro NCAP	Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos
FDM	Modelado de deposición fundida
FIFO	Primero en, primero en salir
FMS	Sistema de fabricación flexible
GA	Algoritmo genético
Gbps	Gigabits por segundo
GDPR	Reglamento general de protección de datos
GFSi	Iniciativa Mundial de Seguridad Alimentaria
GHz	Gigahertz
GMAW	Gas Metal Arc Welding

GTAW	<i>Soldadura de arco del tungsteno del gas</i>
HANA	La nueva arquitectura de HAsso
HMI	Interfaz hombre-máquina
HRC	Cooperación Humano-Robot
Hz	Hertz (frecuencia)
I4.0	Industria 4.0
TIC	Tecnología de la información y las comunicaciones
ICY	Intercambiabilidad
ID	Identificador
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
IFR	Federación Internacional de Robótica
CII	Consorcio de Internet Industrial
IIoT	Internet industrial de las cosas
IMU	Unidad de medición inercial
IoT	Internet de las cosas
IP	Protocolo de Internet
IP67	Código de protección de entrada 67
Ipv6	Protocolo de Internet versión 6
IR	infrarrojo
ISO	Organización Internacional de Normalización
JSON	Notación de objetos JavaScript
JTC	Comité Técnico Conjunto
Kbps	Kilobits por segundo
KD-DSS	Sistema de apoyo a la toma de decisiones basado en el conocimiento
KNIME	Konstanz Información Minero
KPI	Indicador de rendimiento clave
LAN	Red de área local
LCL	Límite de control inferior de un gráfico de control
LED	Diodo emisor de luz
LIFO	Última entrada, primera salida
LMR	Robot móvil con patas
LMS	Sistema de Gestión de Aprendizaje
LWR	Robot ligero
M2M	Máquina a máquina
MAA	Medición / Montaje Asistido por Metrología
MADA	Asamblea determinada asistida por medición
MAG	Soldadura de gas activa de metal
MAST	Herramienta de simulación de agente de fabricación
MCS	Simulación de Monte Carlo
MD-DSS	Sistema de apoyo a la toma de decisiones basado en modelos
MEMS	Sistemas Microeléctrico-Mecánicos
MES	Sistema de ejecución de fabricación

MESA	Asociación de soluciones empresariales de fabricación
MHS	Sistema de manipulación de materiales
MHz	Megahertz
MIG	Soldadura de gas inerte de metal
ML	Aprendizaje automático
MQTT	Transporte de telemetría MQ
MTBF	MTBF: Tiempo medio entre fallos
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio de los Estados Unidos de América
NoSQL	No solo lenguaje de consulta estructurado
NP	Tiempo polinómico no determinista
NPI	Nuevo producto Introducción
OCR	Reconocimiento óptico de caracteres
OEE	Eficacia general del equipo
OMG	Grupo de gestión de objetos
OPC UA	Comunicaciones de plataforma abierta – Arquitectura unificada
OT	Tecnologías operativas
PAM	Músculos neumáticos del aire
PCA	Análisis de componentes principales
PCDA	Planificar, Hacer, Comprobar
PD	Derivada proporcional
PDA	Asistente digital personal
PESTLE	Política, Económica, Sociológica, Tecnológica, Legal y Ambiental
PI	Proporcional Integral
PID	Proporcional Integral Derivativo
PL	Nivel de rendimiento
PLC	Regulador programable de la lógica
PLM	Gestión del ciclo de vida del producto
PN	Redes de Petri
POS	Punto de venta
Profibus	Bus de campo de proceso
PROFINET	Red de campo de proceso
PSO	Optimización del enjambre de partículas
PZT	Titanato zirconato de plomo
QN	Red de colas
I+D+i	Investigación y Desarrollo
RCC	Centro remoto de cumplimiento
RFID	Identificación por radiofrecuencia.
RIA	Asociación de Industrias Robóticas (US)
RL-DSS	Sistema de apoyo a la toma de decisiones basado en el aprendizaje recíproco
RMS	Sistema de fabricación reconfigurable
ROCE	Rendimiento del capital empleado Ratio

RoHS	Restricción de sustancias peligrosas
ROI	Rendimiento de la inversión
ROS	Sistema operativo robot
S3	Servicio de almacenamiento simple
SA	Recocido simulado
SaaS	Software como servicio
SAP	Una corporación de software especializada en software de soporte empresarial
SC	Subcomité
SCADA	Control de supervisión y adquisición de datos
SCARA	Brazo de robot de montaje de conformidad selectiva
SCM	Gestión de la cadena de suministro
SD	Dinámica del sistema
SDK	Kit de desarrollo de software
SEM	Marketing de motores de búsqueda
SEO	Optimización de motores de búsqueda
SMA	Aleación de memoria de forma
SMAC	Social, Móvil, Análisis y Nube
PYME	Empresa de tamaño pequeño y mediano
SPC	Control estadístico de procesos
SQC	Control de calidad estadístico
SQL	Lenguaje de consulta estructurado
SRP/CS	Partes relacionadas con la seguridad de los sistemas de control
DAFO	Fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas
TC	Comité Técnico
TCP	Punto central de la herramienta
TIG	Soldadura de gas inerte de tungsteno
TQM	Gestión de calidad total
TR	Informe técnico
TS	Especificación técnica
UCL	Límite de control superior
USB	Bus serie universal
USD	Dólar estadounidense
UX/UI	Experiencia de usuario/interfaz de usuario
VR	Realidad Virtual
WIP	Trabajo en curso
WMR	Robot móvil rodado
WPPF	Toda La Parte Predictiva De Desbarbado
WSN	Red de sensores inalámbricos
XML	Lenguaje extensible de marcado