



# Optimización de procesos en ingeniería

Gerardo Avendaño Prieto • Giovanni Almanzar • Israel Herrera Orozco  
Gustavo Andrés Campos • Elizabeth León Velásquez





# **Optimización de procesos en ingeniería**

**Autores**

**Gerardo Avendaño P.  
Gustavo Andrés Campos  
Israel Herrera Orozco  
Elizabeth León V.  
Giovanni Almanzar**



Catalogación en la fuente: Biblioteca Universidad EAN

Optimización en procesos de ingeniería / Giovanni Almanzar...  
[et al.] -- Bogotá :  
Universidad EAN, 2014. -- (Libro de investigación) 205 p.

**ISBN: 978-958-756-280-4**

1. Ingeniería 2. Competitividad 3. Calidad de vida  
I. Almanzar, Giovanni

**620 CDD 23**



**Edición**

Dirección Gestión del Conocimiento

**Coodinadora Gestión de Publicaciones**

Laura Cediél Freneda

**Revisión de estilo**

Laura Cediél Freneda

**Diagramación**

Adriana Milena Rodríguez

**Diseño y finalización**

María Eugenia Mila E.

Álvaro Leonel Guerrero

**Diseño de Carátula**

Karen Olivia Sandoval

© Universidad EAN, Carrera 11 No. 78-47 Bogotá D.C., Colombia, 2015.  
Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin autorización de la Universidad EAN.

**ISBN: 978-958-756-280-4**

# Contenido

Introducción.....	9
<b>CAPÍTULO 1.</b> El control estadístico multivariante de procesos como herramienta para la mejora de la calidad en la industria.....	11
1.1 Gráficos de control.....	13
1.1.1 Generalidades.....	13
1.1.2 La variabilidad y los gráfico de control.....	15
1.1.3 Gráfico de control univariante.....	18
1.1.4 El control estadístico multivariante de procesos MSPC.....	20
1.2 Conceptos básicos sobre el gráfico de control $T^2$ de <i>Hotelling</i> .....	20
1.2.1 Generalidades.....	20
1.2.2 Origen y desarrollo del estadístico $T^2$ ...	21
1.2.3 Probabilidad de falsa alarma.....	22
1.2.4 La distancia estadística.....	23
1.2.5 Comparación entre el SD y dos gráficos $\bar{X}$	27
1.2.6 Relación entre el estadístico <i>t Student</i> y el estadístico $T^2$ de <i>Hotelling</i> .....	29
1.2.7 Distribuciones asociadas al estadístico $T^2$ de <i>Hotelling</i> .....	30
1.2.8 Planteamiento del gráfico de control $T^2$ de <i>Hotelling</i> como una prueba de hipótesis.....	31
1.2.9 Condiciones de aplicación.....	32
1.3 El gráfico de control multivariante $T^2$ de <i>Hotelling</i> .....	33
1.3.1 Generalidades.....	33
1.3.2 Gráfico $T^2$ de <i>Hotelling</i> para datos subagrupados.....	33
1.3.3 El gráfico de control $T^2$ de <i>Hotelling</i> para mediciones individuales.....	38
1.4 Estudio de caso.....	40
1.4.1 Estudio de caso 1.....	40
1.4.2 Estudio de caso 2.....	46

1.5 Propuestas alternativas al gráfico de control multivariante $T^2$ de <i>Hotelling</i> .....	53
---	----

<b>CAPÍTULO 2.</b> Análisis del Ciclo de Vida como herramienta para el diseño inteligente de productos y la mejora de procesos.....	55
2.1 Introducción al Análisis del Ciclo de Vida (ACV)	55
2.2 Análisis del Ciclo de Vida y Sostenibilidad.....	56
2.3 Orígenes del Análisis del Ciclo de Vida.....	57
2.4 Actualidad del Análisis del Ciclo de Vida.....	60
2.4.1 Fortalezas.....	61
2.4.2 Debilidades.....	62
2.5 Metodología del Análisis del Ciclo de Vida.....	64
2.5.1 Introducción a la metodología del ACV....	64
2.5.2 Aplicación del Análisis del Ciclo de Vida..	65
2.5.3 Objetivo de usar ACV.....	70
2.5.4 Aspectos básicos de la metodología de ACV.....	70
2.5.5 Ventajas o puntos fuertes del ACV.....	70
2.5.6 Desventajas o puntos débiles del ACV..	72
2.5.7 Estructura y marco del ACV.....	72
2.6 Normatividad relacionada.....	73
2.6.1 UNE-EN ISO 14040:2006. Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia (ISO 14040, 2006).	76
2.6.2 UNE-EN ISO 14044:2006.Gestión Ambiental. Análisis delCiclo de Vida. Requisitos y directrices (United Nations, 2006).....	77
2.7 Fases del análisis del Ciclo de Vida.....	78
2.7.1 Fase 1. Definición del objetivo y alcance del estudio.....	79
2.7.2 Fase 2: Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (AICV).....	87
2.7.3 Fase 3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV).....	92
2.7.4 Fase 4. Interpretación del Ciclo de Vida....	108
2.7.5 Objetivos de la interpretación.....	110
2.7.6 Identificación de los aspectos significativos	110
2.7.7 Revisión crítica.....	113

2.8 Ejemplo teórico: preguntas sobre análisis del Ciclo de Vida por temas.....	115
2.8.1 Introducción al Análisis del Ciclo de Vida	115
2.8.2 Análisis de inventario.....	116
2.8.3 Evaluación de impacto.....	116
2.8.4 Interpretación.....	116
2.9 Ejemplo práctico ACV simplificado de un material de construcción (ladrillo) fabricante de materiales cerámicas para la construcción..	117
2.9.1 Extracción de las materias primas.....	117
2.9.2 Fabricación.....	118
2.9.3 Distribución.....	119
2.9.4 Instalación.....	119
2.9.5 Uso y mantenimiento.....	119
2.9.6 Fin de vida.....	119
2.9.7 Pasos.....	120
2.9.8 Análisis de inventario.....	120
2.10 Aplicación del Análisis del Ciclo de Vida.....	122
2.11 Diseño de productos.....	122
2.11.1 Diseño y análisis del Ciclo de Vida.....	123
2.11.2 Ejemplo de aplicación Análisis de Ciclo de Vida de la producción de aceite vegetal hidrotratado(HVO).....	124
2.11.3 Características del HVO Vs Diesel fósil	126
2.11.4 Definición del objetivo y alcance.....	127
2.11.5 Datos necesarios y requisitos de calidad de los mismos.....	132
2.11.6 Análisis del inventario de los sistemas bajo estudio.....	132
2.12 Resultados.....	142
2.12.1 Análisis de inventario: sistema diésel	142
2.13 Evaluación de impactos.....	146
2.13.1 Consumo de energía, Sistema FAME...	146
2.14 Consumo de energía, sistema Diésel.....	146
2.15 Consumo de energía, sistema HVO.....	147
2.15.1 Refinería 1.....	147
2.15.2 Refinería 2.....	148
2.16 Consumo de energía, comparación de mezclas	148
2.16.1 Calentamiento global, sistema FAME..	150
2.16.2 Calentamiento global, sistema diésel..	150

2.16.3 Calentamiento global, sistema HVO....	151
2.16.4 Interpretación.....	153
2.16.5 Sistema diésel < 10 ppm.....	153
2.16.6 Sistema HBD y comparación de las mezclas.....	154
2.16.7 Conclusiones.....	154
2.17 Control y optimización (mejora) de procesos	156
2.17.1 Ejemplo de aplicación mejora d eprocesos. Análisis de Ciclo de Vida en una planta de tratamiento agua residual municipal.....	157
2.18 Resultados.....	164
2.18.1 Análisis de inventario.....	164
2.18.2 Resultados de la evaluación de impacto ambiental.....	165
2.19 Interpretación.....	168
2.19.1 Aspectos a destacar.....	168
2.19.2 Áreas de mejora.....	169
2.19.3 Conclusiones.....	169
2.20 Los indicadores como herramientas para evaluar impactos sobre el medio ambiente....	170
2.20.1 Criterios e indicadores.....	170
<b>CAPÍTULO 3.</b> Sistemas de indicadores ambientales como herramienta de evaluación ambiental y ayuda a la decisión.....	173
3.1 Criterios e indicadores para evaluar la calidad de los bosques.....	173
3.2 Criterios e indicadores para evaluar la calidad de las aguas de superficie.....	174
3.3 Niveles de información referente a los indicadores.....	179
3.4 Técnicas de tratamiento de información de los indicadores.....	180
3.4.1 Normalización.....	180
3.5 Características de calidad de los indicadores.....	182
3.6 Los indicadores ambientales.....	186
3.7 Modelos de indicadores ambientales.....	192
3.8 Descripción de los procesos petroleros y sus impactos en el medio ambiente.....	197

3.9	Impactos ambientales de la explotación de petróleo en países tropicales.....	206
3.10	Ejemplos de algunos indicadores ambientales usados en la industria petrolera	210
3.11	Indicadores de desarrollo sostenible en la industria petrolera.....	212
3.12	Sistema de indicadores ambientales propuestas para el estudio de caso.....	213
3.13	Identificación y evaluación de impactos ambientales. Estudio de caso.....	214
3.14	Discusión y conclusiones.....	221
<b>CAPÍTULO 4.</b> Elaboración de métodos rápidos y efectivos de diagnóstico por contaminación patógena		
		225
4.1	Introducción.....	225
4.2	Planteamiento del problema.....	227
4.3	Estado del arte.....	228
4.4	Sustratos.....	229
4.5	Carbohidratos.....	230
4.6	Manitol.....	231
4.7	Metodología y resultados.....	232
4.7.1	Preparación del soporte sólido.....	232
4.7.2	Absorción de manitol al soporte sólido...	233
4.7.3	Ensayo de crecimiento microbiano en medios de cultivo enriquecido con manitol.....	234
4.7.4	Ensayo de crecimiento Bacillus Subtilis en soportes sólidos enriquecidos con manitol..	236
4.7.5	Ensayo de crecimiento microbiológico empleando manitol absorbido en soporte sólido.....	238
4.8	Discusión y conclusiones.....	244
	Referencias bibliográficas.....	247





# Introducción

---

La Universidad EAN tiene el agrado de presentar el libro "Optimización de Procesos en Ingeniería", cuyo objetivo es su utilización en los programas de postgrado y en especial de doctorado de la Institución, como una interesante fuente de consulta.

Para contribuir a responder a los grandes desafíos de un mundo globalizado cada vez más cambiante y exigente, la Universidad EAN creó tres programas de doctorado: Doctorado en Gestión, en Ingeniería de Procesos y en Gerencia Proyectos.

Adicional a ello y con base en el modelo pedagógico de la Universidad EAN, se desarrolló la presente investigación con la cual se busca orientar a los lectores, doctorandos, docentes e investigadores, hacia la exploración de soluciones a problemas de las organizaciones.

El Capítulo 1, muestra como el control estadístico multivariante de procesos, sirve de cimiento para el análisis de procedimientos utilizados científicamente en el desarrollo de la investigación; además, se evidencia como es una herramienta para la mejora de la calidad en cualquier tipo de industria; ahí la razón de encontrarse al principio del libro.

El Capítulo 2, habla sobre el análisis del ciclo de vida como herramienta para el diseño inteligente de productos y el mejoramiento de procesos, lo que nutre y refuerza el Capítulo 1.

El Capítulo 3, presenta, en su primera parte, el sistema de indicadores ambientales generales y luego muestra los impactos ambientales de la explotación petrolera complementando esta información con un caso de aplicación para Colombia.

El último capítulo, muestra como el impulso de la industria farmacéutica y específicamente el desarrollo científico a nivel molecular de genes implicados en la generación de enfermedades, ha llevado a la obtención de nuevas vacunas. Los descubrimientos aquí revelados son una herramienta útil para garantizar la seguridad y calidad de los productos. Esta investigación presenta la elaboración de un método innovador de detección por contaminación, que evita que agentes patógenos sean capaces de generar brotes infecciosos, que de alcanzar al usuario final, pueden ocasionar problemas de salud pública. Es decir, se cierra el libro con un tema de vital importancia para la calidad de vida de la población humana.

El libro "Optimización de Procesos en Ingeniería", es el resultado de la investigación y el trabajo conjunto de sus autores. Esperamos que esta obra sea un instrumento útil que contribuya en la labor de los ingenieros, estudiantes de postgrado y en especial doctorandos, quienes deben atender y solucionar de manera efectiva las distintas problemáticas que se presentan en una organización generando conocimiento beneficioso para la humanidad.

**GERARDO AVENDAÑO PRIETO Ph. D.**

Director de proyecto

Líder Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico ONTARE

Profesor Titular Facultad de Ingeniería

Universidad EAN

# Capítulo 1

## El control estadístico multivariante de procesos como herramienta para la mejora de la calidad en la industria

### Introducción

En los últimos años se ha producido un crecimiento exponencial en el número de empresas que utilizan diferentes herramientas para mejorar la calidad de sus procesos o servicios. Una de las herramientas más relevantes es el Control Estadístico de Procesos o *Statistic Process Control* (SPC) por sus siglas en inglés. Su objetivo es alertar, mediante una señal, de la presencia de condiciones no comunes en un proceso de manufactura. La detección de tales condiciones se consigue recolectando y monitorizando a través del tiempo, información estadística de la variable o variables que caracterizan el proceso o el producto, denominadas variables de calidad. El supuesto principal del control estadístico de procesos, es considerar que las variables de calidad pueden tener dos diferentes distribuciones de frecuencia, una estando bajo control y otra, cuando el proceso está fuera de control estadístico. La primera estaría dominada únicamente por causas comunes de variabilidad, y la segunda aparecerá cuando una causa especial de variabilidad se ha presentado en el proceso.