

# Índice general

## 1. Introducción 1

|  |   |
|--|---|
| 1.1. Consideraciones iniciales . . . . .       | 1 |
| 1.2. Planteamiento del problema . . . . .      | 2 |
| 1.3. Objetivos planteados . . . . .            | 4 |
| 1.3.1. Objetivo General . . . . .              | 4 |
| 1.3.2. Objetivos de la investigación . . . . . | 4 |
| 1.4. Estructura del documento . . . . .        | 5 |

## 2. Marco conceptual 7

|   |    |
|---|----|
| 2.1. Introducción . . . . .   | 7  |
| 2.2. Control Estadístico de Procesos y Gráficos de Control . . . . .                                  | 8  |
| 2.2.1. Causas comunes y asignables de la variación de la<br>calidad . . . . .                         | 9  |
| 2.2.2. Gráficos de Control . . . . .  | 11 |
| 2.2.3. Gráficos de control para variables multinomiales. . . . .                                      | 24 |
| 2.3. Teoría Difusa y gráficos de Control . . . . .  | 27 |
| 2.3.1. Antecedentes . . . . .   | 27 |
| 2.3.2. Variables Lingüísticas y Conjuntos Difusos . . . . .   | 31 |
| 2.3.3. Valor representativo de un subconjunto difuso . . . . .  | 35 |
| 2.3.4. Representación de una muestra . . . . .  | 38 |
| 2.3.5. Algunos gráficos de control con enfoque difuso . . . . .                                       | 47 |
| 2.4. Gráficos de control para variables multinomiales con<br>enfoco difuso . . . . .                  | 48 |
| 2.4.1. Introducción . . . . .   | 48 |
| 2.4.2. Gráficos de control con enfoque difuso para variables<br>multinomiales univariantes. . . . .   | 48 |
| 2.4.3. Gráficos de control con enfoque difuso para variables<br>multinomiales multivariantes. . . . . | 51 |

## 3. Gráfico de Control Multinomial Multivariante con enfoque difuso 57

|   |    |
|---|----|
| 3.1. Introducción . . . . .   | 57 |
| 3.2. Generalidades . . . . .  | 59 |
| 3.3. Modelo propuesto . . . . .                                       | 60 |
| 3.3.1. Estimación de los parámetros $\mu R$ y $\Sigma R$ . . . . .    | 67 |
| 3.3.2. Interpretación de señales de <i>fuera-de-control</i> . . . . . | 71 |
| 3.4. Ejemplos de Aplicación . . . . .                                 | 72 |
| 3.4.1. Ejemplo 1: Proceso de producción de comida congelada . . . . . | 72 |
| 3.4.2. Ejemplo 2: Proceso de producción de porcelana . . . . .        | 79 |
| 3.5. Discusión . . . . .  | 85 |
| 3.5.1. Ejemplo 1 . . . . .  | 85 |
| 3.5.2. Ejemplo 2 . . . . .  | 86 |
| 3.6. Conclusiones . . . . .   | 87 |

|  |            |
|--|------------|
| <b>4. Rendimiento del gráfico de control difuso multinomial multivariante</b>  | <b>89</b>  |
| 4.1. Introducción . . . . .  | 89         |
| 4.2. Propuesta . . . . .   | 92         |
| 4.3. Análisis del rendimiento: estado bajo-control . . . . .   | 95         |
| 4.4. Análisis del rendimiento: estado fuera-de-control . . . . .   | 100        |
| 4.5. Análisis comparativo del rendimiento . . . . .  | 104        |
| 4.6. Conclusiones . . . . .  | 106        |
| <br>   |            |
| <b>5. Análisis de sensibilidad</b>   | <b>109</b> |
| 5.1. Introducción . . . . .  | 109        |
| 5.1.1. Grado de borrosidad de un subconjunto difuso . . . . .  | 110        |
| 5.1.2. Curvas Características de Operación. . . . .  | 115        |
| 5.2. Sensibilidad de los resultados del gráfico de control T2MMD frente al<br>grado de borrosidad de las funciones de pertenencia. . . . . | 116        |
| 5.2.1. Ejemplo 1: Proceso de producción de comida congelada . . . . .  | 116        |
| 5.2.2. Ejemplo 2: Proceso de producción de porcelana . . . . .   | 123        |
| 5.3. Sensibilidad del rendimiento del gráfico de control T2MMD frente al<br>grado de borrosidad de las funciones de pertenencia. . . . .   | 130        |
| 5.4. Conclusiones . . . . .  | 138        |
| <br>   |            |
| <b>6. Conclusiones y líneas futuras de investigación</b>   | <b>141</b> |
| 6.1. Conclusiones . . . . .  | 141        |
| 6.2. Líneas futuras de investigación . . . . .   | 144        |
| <br>   |            |
| <b>Anexos</b>  | <b>147</b> |
| <b>A. Algoritmo Generación de variables Multinomiales</b>  | <b>149</b> |
| <b>B. Algoritmo para determinación de ARL mediante simulación</b>  | <b>155</b> |
| <b>Bibliografía</b>  | <b>161</b> |