

# LISTA DE CONTENIDOS

|  |       |
|--|-------|
| AGRADECIMIENTOS .....  | I     |
| SINOPSIS .....   | III   |
| ABSTRACT .....   | V     |
| SINOPSI .....  | VII   |
| NOMENCLATURA .....   | IX    |
| ACRÓNIMOS .....  | IX    |
| VARIABLES .....  | XI    |
| LISTA DE CONTENIDOS.....   | XIII  |
| LISTA DE FIGURAS .....   | XVIII |
| LISTA DE TABLAS .....  | XXI   |
| Capítulo 1 Introducción.....   | 1     |
| 1.1. Introducción general.....   | 1     |
| 1.2. Problema científico .....   | 12    |
| 1.3. Hipótesis .....   | 13    |
| 1.4. Objetivo general .....  | 13    |
| 1.5. Objetivos específicos .....   | 13    |
| 1.6. Preguntas de investigación .....  | 14    |
| 1.7. Metodología.....  | 14    |
| 1.7.1. Metodología aplicada en la fase experimental .....  | 14    |
| 1.7.2. Metodología utilizada para el tratamiento de datos experimentales y la<br>obtención de correlaciones..... | 15    |
| 1.7.3. Metodología empleada en la modelación y simulación .....  | 15    |
| 1.8. Aporte de la investigación .....  | 15    |
| 1.9. Estructura de la tesis .....  | 16    |

|   |    |
|---|----|
| Capítulo 2 Revisión de Estudios Experimentales .....                                    | 18 |
| 2.1. Introducción .....   | 18 |
| 2.2. Chorros de vapor.....  | 19 |
| 2.2.1. Mapas 2D de regímenes de condensación (2DCR) .....                               | 20 |
| 2.2.2. Mapas 3D de regímenes de condensación (3DCR) .....                               | 28 |
| 2.2.3. Resumen de los mapas de regímenes de condensación .....                          | 34 |
| 2.2.4. Reclasificación de los mapas de regímenes de condensación.....                   | 35 |
| 2.2.5. Forma de la cavidad de vapor.....  | 38 |
| 2.2.6. Longitud de penetración del chorro de vapor .....                                | 46 |
| 2.3. Chorros de gases no-condensables.....  | 55 |
| 2.3.1. Régimen de burbujeo.....   | 55 |
| 2.3.2. Régimen de chorro constante .....  | 58 |
| 2.3.3. Longitud de penetración del chorro de gas no condensable .....                   | 60 |
| 2.4. Chorros de mezclas de vapor y gases no condensables .....                          | 63 |
| 2.4.1. Efecto del gas no condensable en la condensación .....                           | 63 |
| 2.4.2. Efecto del gas no condensable en la oscilación de la presión .....               | 65 |
| 2.4.3. Efecto del gas no condensable en la transferencia de calor.....                  | 66 |
| 2.4.4. Longitud de penetración del chorro de mezcla de vapor-gases no condensables..... | 66 |
| Capítulo 3 Metodología y Resultados Experimentales.....                                 | 68 |
| 3.1. Introducción .....   | 68 |
| 3.2. Diseño experimental .....  | 69 |
| 3.2.1. Descripción de la instalación JEBEA.....   | 70 |
| 3.3. Metodología experimental y tratamiento de datos.....                               | 75 |
| 3.3.1. Geometría del chorro .....   | 75 |
| 3.3.2. Técnicas ópticas de visualización del chorro.....                                | 77 |
| 3.3.3. Metodología de procesamiento de imágenes .....                                   | 78 |
| 3.3.4. Metodología de obtención de correlaciones.....                                   | 80 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.3.5. Tratamiento estadístico de los datos experimentales .....                | 81  |
| 3.3.6. Análisis de la incertidumbre de las mediciones .....                     | 81  |
| 3.4. Caracterización experimental de la longitud de momento .....               | 82  |
| 3.4.1. Longitud de momento del chorro de gas .....                              | 85  |
| 3.4.2. Efecto de $V_a$ en la longitud de momento .....                          | 86  |
| 3.4.3. Efecto de la velocidad en la longitud de momento .....                   | 88  |
| 3.4.4. Correlación para predecir la longitud de momento adimensional .....      | 89  |
| 3.4.5. Predicción de la longitud del impulso mediante otras correlaciones ..... | 91  |
| 3.5. Caracterización experimental de la zona de transición .....                | 93  |
| 3.5.1. Imagen de intensidad espacial variable y contornos .....                 | 95  |
| 3.5.2. Relación de la velocidad con la fracción volumétrica de aire .....       | 97  |
| 3.5.3. Dependencia del área de la sección transversal con $V_a$ .....           | 98  |
| Capítulo 4 Revisión de Estudios Numéricos .....                                 | 99  |
| 4.1. Introducción .....   | 99  |
| 4.2. Modelos multifásicos .....   | 100 |
| 4.2.1. Ecuación de conservación de la masa o continuidad .....                  | 105 |
| 4.2.2. Ecuación de conservación del momento .....                               | 106 |
| 4.2.3. Ecuación de conservación de la energía .....                             | 109 |
| 4.2.4. Formulación de arrastre .....  | 111 |
| 4.3. Modelos de turbulencia .....   | 112 |
| 4.4. Modelos de cambio de fase .....  | 115 |
| 4.4.1. Área interfacial .....   | 115 |
| 4.4.2. Coeficientes de transferencia de calor interfacial .....                 | 116 |
| 4.4.3. Transferencia de masa interfacial .....                                  | 118 |
| 4.5. Resultados obtenidos en las investigaciones previas .....                  | 120 |
| Capítulo 5 Metodología y Resultados Numéricos .....                             | 127 |
| 5.1. Introducción .....   | 127 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.2. Modelación numérica con ANSYS CFX.....  | 128 |
| 5.2.1. Desarrollo de modelo numérico.....  | 128 |
| 5.2.2. Modelo multifásico no homogéneo.....  | 129 |
| 5.2.3. Ecuación de momento.....  | 130 |
| 5.2.4. Ecuación de continuidad.....  | 132 |
| 5.2.5. Ecuación de turbulencia.....  | 132 |
| 5.2.6. Condiciones de frontera e inicialización.....   | 134 |
| 5.2.7. Método de solución.....   | 135 |
| 5.3. Discretización espacial e independencia de malla.....   | 137 |
| 5.4. Resultados y discusión.....   | 140 |
| 5.4.1. Comportamiento de chorro de aire.....   | 142 |
| 5.4.2. Longitud de penetración del chorro.....   | 147 |
| 5.4.3. Longitud de flotabilidad del chorro.....  | 149 |
| 5.4.4. Correlaciones para la longitud de penetración y flotabilidad.....                               | 152 |
| 5.5. Validación del modelo CFD.....  | 154 |
| 5.5.1. Validación de la longitud de penetración normalizada.....                                       | 154 |
| 5.5.2. Validación de la longitud de flotabilidad normalizada.....                                      | 155 |
| 5.5.3. Validación de la línea central del chorro.....  | 156 |
| Capítulo 6 Conclusiones y Trabajos Futuros.....  | 159 |
| 6.1. Introducción.....   | 159 |
| 6.2. Trabajo experimental.....   | 159 |
| 6.2.1. Tratamiento de datos experimentales y obtención de correlaciones con número adimensionales..... | 161 |
| 6.3. Modelación y simulación.....  | 162 |
| 6.4. Trabajos futuros.....   | 164 |
| Capítulo 7 Bibliografía y Producción Científica.....   | 166 |
| Bibliografía.....  | 166 |
| Producción científica.....   | 179 |

|   |     |
|---|-----|
| Artículos publicados en revistas científicas .....        | 179 |
| Publicaciones en memorias de congresos.....               | 179 |
| Ponencias en congresos nacionales e internacionales ..... | 179 |