

ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo 1. Introducción general.....1

| | |
|---|----|
| 1.1. Introducción..... | 1 |
| 1.2. El problema de la energía en África subsahariana..... | 1 |
| 1.3. Energía y desarrollo sostenible..... | 2 |
| 1.3. Situación de la pobreza energética en África..... | 2 |
| 1.4.1. Acceso al suministro de energía eléctrica en África..... | 2 |
| 1.4.2. Un sistema energético basado principalmente en la biomasa..... | 3 |
| 1.5. Contexto general..... | 5 |
| 1.6. Objetivo final del trabajo..... | 6 |
| 1.7. Proceso técnico de optimización del diseño..... | 7 |
| 1.8. Hipótesis de partida..... | 7 |
| 1.9. Metodología del trabajo..... | 8 |
| 1.10. Morfología del trabajo..... | 8 |
| 1.11. Aportaciones científicas..... | 10 |
| 1.12. Conclusión..... | 12 |
| Referencias bibliográficas del capítulo 1..... | 13 |

Capítulo 2. Estado del arte general sobre la estufas de cocción.....17

| | |
|--|----|
| Preámbulo..... | 17 |
| 2.1. Introducción..... | 17 |
| 2.2 Revisión bibliográfica..... | 18 |
| 2.2.1. Historia de las estufas..... | 18 |
| 2.2.1.1. Estufas tradicionales de tres piedras..... | 18 |
| 2.2.1.2. Estufas mejoradas..... | 18 |
| 2.2.2. Estufas de cocción y emisiones contaminantes..... | 19 |
| 2.2.3. Tecnologías y diseño de las estufas de cocción..... | 21 |

| | |
|--|----|
| 2.2.4. Impactos socio-económico-ambiental y adopción de las estufas..... | 23 |
| 2.2.4.1 Difusión de las estufas y adopción efectiva por los hogares..... | 23 |
| 2.2.4.2. Estufas y deforestación..... | 26 |
| 2.2.4.3. Estufas de cocción y Cambio climático..... | 26 |
| 2.3. Conclusión..... | 26 |
| Referencias bibliográficas del capítulo 2..... | 27 |

Capítulo 3. Los combustibles tradicionales y los combustibles alternativos.....35

| | |
|---|----|
| 3.1. Preámbulo..... | 35 |
| 3.2. Enfoque Sostenible del Aprovechamiento de los Recursos de Biomasa..... | 35 |
| 3.2.1. Enfoque no Sostenible del Sistema Actual..... | 35 |
| 3.2.2. Enfoque Sostenible de los Recursos de Biomasa..... | 36 |
| 3.3. El combustible tradicional..... | 36 |
| 3.3.1. La leña..... | 36 |
| 3.3.1.1 Tipos de madera o leñas..... | 36 |
| 3.3.1.2. Propiedades físico-químicas de la madera..... | 37 |
| 3.3.1.4 Higroscopicidad de la madera..... | 37 |
| 3.3.1.5 Contenido de ceniza de madera..... | 39 |
| 3.3.1.6. La combustión de la leña..... | 39 |
| 3.3.1.7. Poder calorífico del combustible..... | 40 |
| 3.3.1.8. Poder comburivoro..... | 40 |
| 3.3.1.9. Poder fumígeno..... | 40 |
| 3.3.1.10 La combustión completa del combustible..... | 40 |
| 3.3.2. Carbón vegetal..... | 43 |
| 3.3.2.1 La Carbonización..... | 43 |
| 3.3.2.2. Caracterización del carbón vegetal..... | 44 |
| 3.3.3. La leña y carbón vegetal: un aspecto comparativo..... | 44 |
| 3.4. Los combustibles alternativos..... | 45 |
| 3.4.1. Problemática..... | 45 |

| | |
|---|----|
| 3.4.2. Proceso de producción de briquetas biocombustibles sólidos a partir de residuos agrícolas..... | 45 |
| 3.4.2.1. Recogida y preparación de la biomasa..... | 45 |
| 3.4.2.2. Pirolisis o carbonización..... | 45 |
| 3.4.2.3. La trituración..... | 45 |
| 3.4.2.4. La adición de un aglutinante..... | 46 |
| 3.4.2.5. La densificación de los residuos obtenidos en briquetas de carbón..... | 46 |
| 3.4.2.6. Secado de briquetas..... | 46 |
| 3.4.3. Problema de adopción de un nuevo modelo de biomasa para la cocina..... | 46 |
| 3.4.4. Caracterización briquetas biocombustibles..... | 46 |
| 3.5. Conclusión..... | 48 |
| Referencias bibliográficas del capítulo 3..... | 49 |

Capítulo 4. Protocolos de prueba sobre las estufas de cocción.....55

| | |
|---|----|
| 4.1. Introducción..... | 55 |
| 4.2 Diferentes protocolos de prueba sobre las estufas de cocción..... | 55 |
| 4.2.1 Prueba de ebullición de agua “Water Boiling Test” (WBT)..... | 56 |
| 4.2.1.1. Preámbulo..... | 56 |
| 4.2.1.2 Proceso del WBT..... | 56 |
| 4.2.1.3 Las disposiciones prácticas de la WBT y el desarrollo de la prueba..... | 57 |
| 4.2.1.4 Estimación de los parámetros e indicadores de rendimiento..... | 58 |
| 4.2.2 Prueba de cocina controlada “Controlled Cooking Test” (CCT)..... | 64 |
| 4.2.2.1. Preámbulo..... | 64 |
| 4.2.2.2. Proceso del CCT..... | 64 |
| 4.2.2.3. Obtención de parámetros de rendimiento de una CCT..... | 65 |
| 4.2.3 Prueba de rendimiento de cocina “Kitchen Performance Test” (KPT)..... | 66 |
| 4.2.3.1 Preámbulo..... | 66 |
| 4.2.3.2 Selección de hogares para participar en un KPT..... | 66 |
| 4.2.3.3 Implementación de un KPT..... | 67 |
| 4.2.3.4 Selección de comunidades para el KPT..... | 67 |

| | |
|---|----|
| 4.2.4. Protocolo de seguridad para las estufas de biomasa (Biomass stove security protocol BSSP). | 67 |
| 4.3. Metodología de cálculo para reducción de las emisiones de dióxido de carbono CO ₂ . | 68 |
| 4.3.1. Preámbulo. | 68 |
| 4.3.2. Estimación de la reducción de CO ₂ para la adopción de una nueva estufa ICS. | 68 |
| 4.3.3. Estimación de reducción de CO ₂ para la adopción de un nuevo combustible. | 69 |
| 4.4. Conclusión. | 70 |
| Referencias bibliográficas del capítulo 4. | 71 |

Capítulo 5. Diseño de las estufas de cocción.....75

| | |
|---|----|
| Preámbulo. | 75 |
| 5.1. Mejoras en la eficiencia energética de las estufas domésticas. | 76 |
| 5.1.1. Cómo mejorar las estufas tradicionales. | 76 |
| 5.1.2. Principios para mejorar la eficiencia y reducir la contaminación. | 76 |
| 5.1.2.1. Reducción de la contaminación. | 76 |
| 5.1.2.2. Mejora de la eficiencia energética. | 77 |
| 5.2. Mejora de los estufas de cocción de primera aproximación (mejora de nivel 1). | 77 |
| 5.2.1. Mejoras basadas en el enfoque participativo de los usuarios primarios. | 77 |
| 5.2.2. Modelos de diseños propuesta. | 78 |
| 5.2.3. Estufa tradicional de leña con 3 piedras (TCS-3P). | 78 |
| 5.2.3.1. Posición del problema. | 78 |
| 5.2.3.2. Técnica de construcción del TCS-3P. | 79 |
| 5.2.3.3 Estufa tradicional de 3 piedras con Base cerámica (TCS-3P+CB). | 79 |
| 5.2.3.4. Diseño de la Base cerámica (CB). | 80 |
| 5.2.4. Estufa tradicional de carbón vegetal con combustión natural (TCS-C). | 81 |
| 5.2.4.1. Descripción de la TCS-C. | 81 |
| 5.2.4.2 Posición del problema. | 82 |
| 5.2.4.3. Mejora de la estufa tradicional de carbón vegetal mediante placas de cerámica “Ceramic plate” (CPs). | 82 |
| 5.2.4.4. Diseño de los CPs. | 82 |

| | |
|--|-----|
| 5.2.5. Críticas a las mejoras..... | 83 |
| 5.3. Mejora de nivel 2..... | 83 |
| 5.3.1. Influencia del diámetro de la cámara de combustión..... | 83 |
| 5.3.2. Determinación del diámetro medio de la olla (Do) en la zona de estudio..... | 84 |
| 5.3.3. Selección del diámetro óptimo de la cámara de combustión..... | 84 |
| 5.3.4. Elección de la profundidad de la cámara de combustión..... | 86 |
| 5.3.5. La elección de la altura de los soportes-olla (Hso)..... | 86 |
| 5.3.6. Minimización de las pérdidas laterales: aislamiento de la cámara de combustión..... | 87 |
| 5.3.6.1 La pared de aislamiento térmico..... | 87 |
| 5.4. Mejora del nivel 3 de los estufas de cocción..... | 87 |
| 5.4.1 Estufas de gasificación de la biomasa..... | 87 |
| 5.4.1.1. Concepto..... | 87 |
| 5.4.1.2 Principio de funcionamiento de una estufa de gasificación ICS-G1..... | 88 |
| 5.4.1.3. La importancia de la gasificación de la biomasa..... | 89 |
| 5.4.1.4. Dimensionamiento de los diferentes elementos de un ICS-G1..... | 90 |
| 5.4.1.5. Pre calentamiento del aire secundario..... | 93 |
| 5.4.1.6 La orientación de los agujeros de entrada de aire secundarios y El aspecto arremolinado..... | 93 |
| 5.4.1.7. El suministro de energía de la estufa ICS-G1..... | 94 |
| 5.4.1.8. La autonomía de la estufa ICS-G1..... | 94 |
| 5.4.1.9. Suministro multi-combustible de las ICS-G1..... | 94 |
| 5.4.2 Estufas de gasificación de doble cámara de combustión (ICS-G2)..... | 96 |
| 5.4.2.1 Importancia de la ICS-G2 con doble reactor..... | 96 |
| 5.4.2.2 Diseño de la ICS-G2..... | 96 |
| 5.4.2.3 Las diferentes potencias de los reactores y sus dimensiones constructivas..... | 98 |
| 5.5. Equipos de Medición..... | 98 |
| 5.6. Conclusión..... | 99 |
| Referencias bibliográficas del capítulo 5..... | 100 |

Capítulo 6: Resultados y discusiones.....105

| | | |
|----------|---|-----|
| 6.1 | Introducción..... | 105 |
| 6.2 | Resultados de las mejoras de las estufas TCS-3P y TCS-C..... | 105 |
| 6.2.1 | Comparación de la estufa tradicional (TCS-3P) frente a la tradicional con base cerámica (TCS-3P +CB)..... | 105 |
| 6.2.2 | Mejora sobre la TCS-C basada en CP..... | 107 |
| 6.3 | Resultados de la optimización de la estufa mejorada ICS-C..... | 108 |
| 6.3.1. | Optimización del diámetro de la cámara de combustión..... | 109 |
| 6.3.2. | Optimización de la altura de los soportes-olla..... | 111 |
| 6.3.3. | Profundidad de la cámara de combustión..... | 113 |
| 6.3.4. | Minimización de las pérdidas laterales..... | 115 |
| 6.4. | Comparación de las diferentes estufas de cocción en respecto con la referencia tradicional..... | 116 |
| 6.4.1 | Resultados de las mejoras entre TCS-C y ICS-C..... | 116 |
| 6.4.1.1. | Resultados de Comparación entre TCS-C y ICS-C por método WBT..... | 117 |
| 6.4.1.2. | Resultados de Comparación entre TCS-C y ICS-C por método CCT..... | 118 |
| 6.4.2 | Resultados de las mejoras entre TCS-C y ICS-G1..... | 119 |
| 6.4.2.1. | Resultados de comparación entre TCS y ICS-G1 por método WBT..... | 119 |
| 6.4.2.2. | Resultados de Comparación entre TCS-C y ICS-G1 por método CCT..... | 120 |
| 6.4.3. | Resultados de las mejoras entre ICS-C y ICS-G1..... | 121 |
| 6.4.3.1. | Resultados de Comparación entre ICS-C y ICS-G1 por método WBT..... | 121 |
| 6.4.3.2. | Resultados de Comparación entre ICS-C y ICS-G1 por método CCT..... | 122 |
| 6.4.4. | Síntesis de las mejoras de las estufas por método WBT..... | 123 |
| 6.4.5. | Síntesis de las mejoras de las estufas por método CCT..... | 123 |
| 6.4.4. | Análisis ambientales..... | 124 |
| 6.4.4.1. | Escenario estimativo del consumo de carbón vegetal en Kinshasa con adopción de ICS-C..... | 124 |
| 6.4.4.2. | Escenario estimativo del consumo de carbón vegetal en Kinshasa con adopción de ICS-G1..... | 127 |
| 6.4.4.3 | Análisis de la ER-CO ₂ en la adopción de las estufas ICS-C y ICS-G1 en la ciudad de Kinshasa. | 129 |
| 6.4.5 | Análisis de impactos socioeconómicos..... | 129 |
| 6.4.5.1 | Aspectos sociales..... | 129 |
| 6.4.5.2 | Aspectos económicos..... | 130 |
| 6.5. | Análisis de flexibilidad de las estufas..... | 131 |

| | |
|--|------------|
| 6.6. Análisis del nivel de seguridad de las estufas de cocción..... | 132 |
| 6.7. Conclusión..... | 134 |
| Referencias bibliográficas del capítulo 6..... | 134 |
| Capítulo 7: Conclusiones generales e investigaciones futuras..... | 139 |
| 7.1. Conclusiones generales..... | 139 |
| 7.2. Investigaciones futuras..... | 141 |