



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO APROVECHABLE DE LA BIOMASA FORESTAL EN EL CANTÓN RIOBAMBA Y SU VIABILIDAD A TRAVÉS DE GASIFICACIÓN TIPO DOWNDRAFT

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA**

ING. LENIN SANTIAGO OROZCO CANTOS
leninomega6@hotmail.com

DIRECTOR: FIS. MARCO VINICIO YÁNEZ SALCEDO, MSC.
marco.yanez@epn.edu.ec

Quito, septiembre, 2017

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el **Ing. Lenin Santiago Orozco Cantos**, bajo mi supervisión.

Fis. Marco Vinicio Yáñez Salcedo, MsC.

DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, **Lenin Santiago Orozco Cantos**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Lenin Santiago Orozco Cantos

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Leticia, ejemplo de perseverancia y apoyo incondicional. A mi sobrino Jair, quien en su corta edad me ha regalado grandes momentos de felicidad y es uno de mis mayores motivos de superación personal. A mis tíos Galo, Fabián y Raúl por haberme concedido generosamente su orientación y fortaleza desde siempre.

AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional que por medio de sus docentes han impartido destacables conocimientos.

A mi director y tribunal de tesis por la guía brindada en la elaboración de este trabajo.

A mis familiares y amigos que se encontraron presentes a lo largo de esta etapa académica, la cual fue un abanico de experiencias enriquecedoras.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Certificación.....	i
Declaración.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento.....	iv
Índice de contenidos.....	v
Índice de figuras.....	viii
Índice de tablas.....	xi
Glosario de términos.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
Pregunta de Investigación.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	3
Alcance.....	3
1. MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Energía renovable de biomasa, Estado Actual.....	4
1.2. Sobre la biomasa forestal.....	9
1.3. Transformación de la energía a partir la biomasa forestal.....	13
1.3.1. Gasificación.....	14
1.3.2. Proceso de gasificación.....	15
1.3.3. Tipos de gasificadores.....	17
1.4. Comparación de la gasificación y la combustión.....	21
1.5. Biomasa forestal como energía renovable y su relación con el medio ambiente.....	22
2. METODOLOGÍA.....	27
2.1. Parámetros para la identificación del potencial energético de biomasa residual de industria maderera en el cantón Riobamba.....	28
2.2. Proceso de encuestado.....	34
2.3. Descripción del equipo de gasificación existente.....	36
2.4. Procedimiento experimental.....	41

2.4.1.	Materiales y equipos utilizados.....	41
2.4.2.	Diagrama P&ID del gasificador downdraft.....	42
2.4.3.	Protocolo de experimentación.....	44
2.5.	Balance de masa y energía en la gasificación.....	47
2.6.	Eficiencia del proceso de gasificación.....	50
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
3.1.	3.1. Resultados.....	52
3.1.1.	. Información de los establecimientos encontrados.....	52
3.1.2.	3.1.2. Cantidad y tipo de materia prima que utilizan los establecimientos madereros	54
3.1.3.	3.1.3. Cantidad y tipo de residuos forestales de la industria maderera.....	59
3.1.4.	3.1.4. Destino final de los residuos forestales de industria maderera.....	64
3.1.5.	3.1.5. Implicación económica de los residuos forestales de industria maderera para los establecimientos.....	66
3.1.6.	3.1.6. Cantidad de residuos forestales de industria maderera disponibles para uso energético.....	71
3.1.7.	3.1.7. Cálculo de la energía aprovechable de la biomasa residual de madera.....	76
3.2.	3.2. Discusión.....	86
3.2.1.	3.2.1. Comparación de valores obtenidos de experimentación con otros estudios similares.....	87
3.2.2.	3.2.2. Análisis financiero gasificador actual.....	88
3.2.3.	3.2.3. Viabilidad en la implementación de una planta piloto.....	97
4.	4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100
4.1.	Conclusiones.....	100
4.2.	4.2. Recomendaciones.....	102
4.3.	4.3. Trabajos futuros	103
	Referencias bibliográficas.....	104
	Anexos.....	109
Anexo 1.	Mapa con sectores para caso de estudio en Riobamba.....	109
Anexo 2.	Parroquias rurales de Riobamba.....	110
Anexo 3.	Modelo de encuesta.....	111

Anexo 4.	Poder calorífico de la madera según la humedad.....	112
Anexo 5.	Planos de enfriador de gas pobre.....	113
Anexo 6.	Planos de filtro de gas pobre.....	121
Anexo 7.	Placas orificio PI 10 y PI 20, cálculo para medición de flujo volumétrico.....	132
Anexo 8.	Cálculo de propiedades del gas pobre como una mezcla de gases.....	133
Anexo 9.	Propiedades de gas ideal aire.....	136
Anexo 10.	Planos de cuerpo de gasificador.....	137
Anexo 11.	Propiedades del aire a la presión de 1 atm.....	140
Anexo 12.	Listado, dirección y ubicación de establecimientos encuestados en el cantón Riobamba.....	141
Anexo 13.	Cromatografía de gases realizadas en el laboratorio de la EPN.....	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Generación mundial de Bio-energía, por país y región, 2005–2015.....	4
Figura 1.2.	Matriz Energética ALC vs Mundo.	5
Figura 1.3.	Participación del Consumo por Energético y Sectores: América Latina y El Caribe – 2015.....	6
Figura 1.4.	Producción de energía primaria 2015.	7
Figura 1.5.	Oferta y demanda de leña en Ecuador 2016.	8
Figura 1.6.	Oferta y demanda de productos de caña Ecuador 2016.	8
Figura 1.7.	Generación eléctrica por fuente, progresión y valores año 2015.	9
Figura 1.8.	Esquema de aprovechamiento de la biomasa.	10
Figura 1.9.	Esquema del proceso de gasificación.	16
Figura 1.10.	Tecnologías de Gasificación.	17
Figura 1.11.	Boceto simplificado del flujo de gas-sólido en un gasificador de flujo arrastrado.	18
Figura 1.12.	Gasificador de tiro ascendente, Updraft.	19
Figura 1.13.	Gasificador de tiro descendente, Downdraft.	19
Figura 1.14.	Gasificador de tiro transversal, Crossdraft.	20
Figura 1.15.	Gasificador de lecho fluidizado.	20
Figura 1.16.	Rango de aplicabilidad para gasificadores de biomasa.	21
Figura 1.17.	América Latina y el Caribe: Porcentaje de participación en la emisión de gases efecto invernadero.	23
Figura 1.18.	Gases de efecto invernadero per cápita en ALC, tCO ₂	23
Figura 1.19.	Esquema de ciclo de CO ₂ en la utilización de la Dendroenergía... ..	25
Figura 2.1.	Factores básicos de conversión.	31
Figura 2.2.	Clases de residuos forestales.	31
Figura 2.3.	Proceso de encuestado parroquias urbanas y rurales.....	35
Figura 2.4.	Diagrama de bloques del gasificador downdraft ESPOCH.	36
Figura 2.5.	Representación gráfica de gasificador Downdraft ESPOCH.	37
Figura 2.6.	Esquema cuerpo principal del gasificador.	37
Figura 2.7.	Esquema ciclón.	38
Figura 2.8.	Temperaturas de fluidos en el conjunto enfriador de gas y ventilador de aire.	39
Figura 2.9.	Configuración de filtro de mangas.	39
Figura 2.10.	Gasificador downdraft ESPOCH.	40

Figura 2.11.	Diagrama P&ID del gasificador downdraft.	43
Figura 2.12.	Bolsa tedlar para muestreo de gas pobre.	47
Figura 2.13.	Diagrama de balance de masa en el gasificador.	48
Figura 2.14.	Diagrama de balance de energía en el gasificador.	49
Figura 3.1.	Cantidad de establecimientos encontrados que proveen o no información por sector.	53
Figura 3.2.	Establecimientos encontrados en el área urbana y rural [u].	53
Figura 3.3.	Cantidad de materia prima de la industria maderera procesada por especies en el cantón Riobamba área urbana y rural [t/semana].	58
Figura 3.4.	Cantidad de materia prima de la industria maderera procesada por sectores en el cantón Riobamba área urbana y rural [m ³ /semana].	59
Figura 3.5.	Porcentajes de residuos forestales producidos por la actividad maderera en el cantón Riobamba en función del volumen.	61
Figura 3.6.	Materia prima vs residuos forestales de industria maderera generados.	63
Figura 3.7.	Masa de residuos forestales de industria maderera generados en el cantón Riobamba por sectores [t/semana].	64
Figura 3.8.	Destino final de los residuos forestales de industria maderera en el cantón Riobamba.	65
Figura 3.9.	Destino final por cada residuo forestal de industria maderera en el cantón Riobamba.	66
Figura 3.10.	Valores de gasto o rédito económico promedio de los residuos forestales de la industria maderera en el cantón Riobamba.	67
Figura 3.11.	Valores de gasto o rédito económico promedio de los residuos forestales de industria maderera en cada sector [\$/kg].	68
Figura 3.12.	Porcentaje de participación de los residuos en el gasto y rédito económico.	70
Figura 3.13.	Valores máximos de gasto o rédito económico por cada sector [\$/semana].	71
Figura 3.14.	Residuos Forestales de industria maderera BIOMASA disponible para fines energéticos en el cantón Riobamba.	73
Figura 3.15.	Total de residuos forestales de industria maderera vs total de biomasa disponible como donación en el cantón Riobamba.	74

Figura 3.16.	Residuos forestales de industria maderera: residuos generados vs residuos disponible como donación por sectores.	74
Figura 3.17.	Masa de residuos forestales de industria maderera disponibles en el cantón Riobamba por sectores [t/semana].	75
Figura 3.18.	Representación de la Energía disponible de biomasa forestal de la industria maderera del cantón Riobamba en función de combustibles de petróleo en una semana.	79
Figura 3.19.	Residuos forestales de la industria maderera aprovechables en Riobamba.	89
Figura 3.20.	Comparativa precios entre gas pobre y GLP para energía térmica	92
Figura 3.21.	Esquema de conjunto gasificador grupo electrógeno.	92
Figura 3.22.	Precios comparativos entre el costo de generación eléctrica.	94
Figura 3.23.	Ahorro de costos de generación con bonos de carbono.	96
Figura 3.24.	Esquema de sistema de generación con grupo electrógeno.	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Fuentes de residuos forestales.	12
Tabla 1.2.	Distribución de un árbol corriente apeado para madera de aserrío...	12
Tabla 1.3.	Características físicas de la biomasa.	13
Tabla 1.4.	Procesos para la transformación de la energía de biomasa.	13
Tabla 1.5.	Poder calorífico inferior de los productos de gasificación.	15
Tabla 1.6.	Composición de los productos de gasificación.	15
Tabla 1.7.	Características de los gasificadores Lecho fijo.	21
Tabla 2.1.	Densidad poblacional a nivel parroquial en el cantón Riobamba.	29
Tabla 2.2.	Dimensiones de la materia prima.	30
Tabla 2.3.	Factores de conversión para diferentes combustibles de madera. .	32
Tabla 2.4.	Factores de conversión de residuos de madera seleccionados.	32
Tabla 2.5.	Valores típicos de densidad aparente para los combustibles de madera seleccionados.	32
Tabla 2.6.	Humedad y cenizas de residuos madereros corrientes.	33
Tabla 2.7.	Características técnicas del gasificador Downdraft ESPOCH.	36
Tabla 2.8.	Distribución por tamaños del polvo del gas Pobre.	40
Tabla 2.9.	Cantidades tolerables de contaminantes del gas pobre.	40
Tabla 2.10.	Equipos e instrumentos para experimentación.	41
Tabla 2.11	Composición de algunos tipos de biomazas en base seca.	44
Tabla 2.12.	Valores del coeficiente de exceso de aire por tipo de combustible...	45
Tabla 3.1.	Cantidad de establecimientos madereros detectados en el cantón Riobamba, año 2016.	52
Tabla 3.2.	Volúmenes de materia prima de los establecimientos madereros en el área urbana.	54
Tabla 3.3.	Volúmenes de materia prima de los establecimientos madereros en el área rural.	55
Tabla 3.4.	Cantidad de materia prima total de los establecimientos madereros en el área urbana.	56
Tabla 3.5.	Cantidad de materia prima total de los establecimientos madereros en el área rural.	57
Tabla 3.6.	Cantidad de materia prima total de los establecimientos madereros en el catón Riobamba.	57
Tabla 3.7.	Volúmenes de residuos forestales de industria maderera generados en el cantón Riobamba por sectores.	60

Tabla 3.8.	Resumen factores de conversión para residuos forestales de industria maderera.	61
Tabla 3.9.	Masa de residuos forestales de industria maderera generados en el cantón Riobamba.	62
Tabla 3.10.	Destino final de los residuos forestales de industria maderera en el cantón Riobamba.	64
Tabla 3.11.	Valores máximos de gasto o rédito económico por tipo de residuo de industria maderera.	69
Tabla 3.12.	Valores máximos de gasto o rédito económico por sector.	70
Tabla 3.13.	Masa de residuos forestales de industria maderera disponibles en el cantón Riobamba por sectores.	72
Tabla 3.14.	Sectores representativos de la disponibilidad de biomasa forestal residual de industria maderera en el cantón Riobamba.	76
Tabla 3.15.	Energía disponible en base al poder calorífico de los residuos forestales de industria maderera del cantón Riobamba en una semana.	77
Tabla 3.16.	Energía disponible en base al PC de la biomasa residual forestal de la industria maderera de los sectores representativos del cantón Riobamba en una semana.	78
Tabla 3.17.	Valor del poder calorífico de combustibles en Ecuador.	78
Tabla 3.18.	Equivalencia de Energía disponible y representación económica del diésel, gasolina y GLP en una semana.	79
Tabla 3.19.	Proceso de arranque y puesta en marcha.	81
Tabla 3.20.	Registro de datos y toma de muestra de gas pobre.	83
Tabla 3.21.	Registro de parámetros gasificación.	84
Tabla 3.22.	Resultados de análisis cromatográfico en laboratorio EPN.	84
Tabla 3.23.	Balance de masas en el proceso de gasificación.	85
Tabla 3.24.	Valores e Índices básicos de gasificación.	85
Tabla 3.25.	Balance de energías en el proceso de gasificación.	86
Tabla 3.26.	Índices energéticos en gasificación.	86
Tabla 3.27.	Comparativa de análisis elemental de gas pobre obtenido por gasificación downdraft.	87
Tabla 3.28.	Comparativa de parámetros de gas pobre obtenido por gasificación downdraft.	87
Tabla 3.29.	Valores de variables para el transporte de carga.	88
Tabla 3.30.	Costo por transporte de residuos forestales.	90

Tabla 3.31.	Valores de variables para la operación del gasificador para generación energía térmica.	91
Tabla 3.32.	Costo por operación de gasificador para generación energía térmica.	91
Tabla 3.33.	Valores para generación de energía térmica.	91
Tabla 3.34.	Valores de variables para la operación del gasificador para generación eléctrica.	93
Tabla 3.35.	Costo por operación de gasificador para generación energía eléctrica.	93
Tabla 3.36.	Valores para generación de energía eléctrica.	93
Tabla 3.37.	Costo de generación de energía eléctrica funcionamiento continuo 120 horas.	94
Tabla 3.38.	Factores de emisión de carbono por fuente de energía.	95
Tabla 3.39.	Cálculo de bonos de carbono en gasificación actual.	95
Tabla 3.40.	Cálculo de disminución de costos de generación con bonos de carbono.	96
Tabla 3.41.	Precios de energía eléctrica producida con Recursos Energéticos No Convencionales.	97
Tabla 3.42.	Condiciones de la Planta de implementación.	97
Tabla 3.43.	Máximas potencias Instaladas.	98
Tabla 3.44.	Análisis FODA.	99

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Biomasa	Cantidad total de materia viva presente en un ecosistema obtenida generalmente por fotosíntesis y susceptible de ser transformada en combustible útil.
Energía renovable	Energía que utiliza los recursos inagotables de la naturaleza como la biomasa, las radiaciones solares o el viento.
Matriz energética	Representación cuantitativa de toda la energía disponible en un determinado territorio, región, país, o continente; para ser utilizada en los diversos procesos productivos.
Poder calorífico	Cantidad de energía por unidad de masa o de volumen de materia que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación
Syngas	Gas de síntesis, es un combustible gaseoso obtenido a partir de sustancias ricas en carbono.
Cadena Trófica	Proceso de transferencia de energía alimenticia a través de una serie de organismos, en el que cada uno se alimenta del precedente y es alimento del siguiente.
Actividad silvícola	Conjunto de actividades relacionadas con el cultivo, el cuidado y la explotación de los bosques y los montes.
Energía embebida	Cantidad de energía que en su momento se usó para fabricar un cierto producto.
Tocón	Parte del tronco de un árbol que queda unida a la raíz cuando lo cortan por el pie.
Densidad poblacional	Relación que hay entre la cantidad de personas que viven en un territorio y la superficie de éste.
Trozas	Tronco aserrado por los extremos para obtener tablas.
Madera en rollo	También llamada rolliza, son los troncos de los árboles apeados que se desraman, se separan de la copa, y posteriormente se cortan a unas dimensiones normalizadas.
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
EPN	Escuela Politécnica Nacional.
EIA	Administración de Información de la Energía de los Estados Unidos.

ALC	América Latina y el Caribe.
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía.
BEP	Barril equivalente de petróleo.
ERNC	Energías renovables no convencionales.
GICC	Gasificación integrada en ciclo combinado.
GEI	Gases de efecto invernadero.
MDF	Tablero de fibras de densidad media.
MDP	Tablero de partículas de densidad media.

RESUMEN

El estudio presente indica la localización y cuantificación de la biomasa forestal residual del sector maderero disponible para uso energético en el cantón Riobamba con el fin de determinar el valor energético que representan en el entorno local y puedan ser transformados en un combustible gaseoso por medio de gasificación downdraft, destinando su poder calorífico a la generación de energía térmica o eléctrica. El levantamiento de información de biomasa se lo obtiene a través de un censo a todos los establecimientos que laboran con madera dividiendo al área encuestada en 35 sectores, 24 urbanos y 11 rurales, en función de la densidad poblacional. Para la transformación energética se utiliza un equipo de gasificación existente en la ESPOCH y la etapa experimental revela los parámetros reales del proceso de gasificación y características del gas combustible, con lo cual se puede determinar los valores técnicos y económicos de generación para usos térmicos o eléctricos. Semanalmente la cantidad de biomasa forestal generada en el cantón es de 61,21 toneladas las cuales tienen distintos fines e influencia económica, el porcentaje que puede ser destinado a usos energéticos es el 17,37% que representa 39,34 MWh. La eficiencia en frío del equipo de gasificación con las mejoras implementadas y la calidad del gas generado están cercanos a los parámetros referenciales teóricos, 72,28% y 5,198 MJ/kg correspondientemente. El costo de generación térmico en sustitución al GLP es favorable si se lo compara a un costo internacional, mientras que para fines eléctricos el valor de kWh es aún más alto que el precio de venta de señalado por el CONELEC.

Palabras clave: Energía renovable, potencial energético, biomasa forestal, gasificación downdraft, gas pobre.

ABSTRACT

The present study indicates the location and quantification of forest biomass available for energy use that is obtained from the lumber sector of the canton Riobamba to determine the energy value that they represent in the local environment and to be transformed into a gaseous fuel by means of gasification downdraft allocating its calorific value to the thermal or electric generation. The survey of biomass data is obtained through a census to all establishments that work with wood, dividing the area surveyed into 35 sectors, 24 urban and 11 rural, depending on the population density. For the energy transformation the gasification equipment at ESPOCH is used and an experimental stage reveals the actual parameters of the gasification process and characteristics of the fuel gas, whereby the technical and economic values of generation for thermal or electrical uses can be determined. The amount of forest biomass generated in the canton is 61.21 tons, which have different purposes and economic influence, the percentage that can be used for energy uses is 17.37%, which represents 39.34 MWh. The cold efficiency of the gasification equipment with the improvements implemented and the quality of the gas generated are close to the theoretical reference parameters, 72.28% and 5.198 MJ/kg correspondingly. The cost of thermal generation in substitution for LPG is favorable when compared to an international cost, while for electric purposes the value of kWh is even higher than the sales price indicated by CONELEC.

Keywords: Renewable energy, energy potential, forest biomass, downdraft gasification, wood gas.

LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO APROVECHABLE DE LA BIOMASA FORESTAL EN EL CANTÓN RIOBAMBA Y SU VIABILIDAD A TRAVÉS DE GASIFICACIÓN TIPO DOWNDRAFT

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, debido a su naturaleza agrícola y forestal, la biomasa residual constituye una fuente renovable de energía con un alto potencial de aprovechamiento. La bioenergía o energía de biomasa, es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica formada en algún proceso biológico. Se puede decir que es energía solar captada y almacenada por los organismos fotosintéticos como las plantas o árboles. Analizando la matriz energética del Ecuador, base año 2015, los datos indican que la producción nacional de energía primaria está concentrada en un 92% en petróleo crudo y gas natural, quedando las energías renovables (hidroelectricidad y biomasa) relegadas a un 8% de la producción nacional. (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2016)

Investigaciones como esta, apuntan al cumplimiento de los Objetivos y Políticas del Plan Nacional para el Buen Vivir, de promover una mayor participación de las energías renovables para reducir el uso de combustibles fósiles y apoyar el cambio de la matriz energética. Ayuda asimismo, la transformación de la matriz productiva mediante la consolidación de una agroindustria nacional que permita aumentar el aprovechamiento de sus recursos y generar empleo de calidad.

En el cantón Riobamba una de las actividades económicas es el sector maderero del cual se desprende la biomasa de interés para el estudio planteado. Las especies que se destinan como materia prima para esta industria son: el eucalipto, pino, guayal, quishuar, capulí, piquil y laurel; las razones debido a las cuales se utilizan estas especies son la rapidez en el secado, rapidez de regeneración después del corte y un considerable poder calorífico; cabe mencionar que no todas estas especies son oriundas del cantón, sino también se las obtiene de otros lugares del país para su procesamiento. La disponibilidad de este recurso es valorable ya que el sector que procesa la madera después de su extracción, básicamente se podría dividir en el grupo industrializado con altos volúmenes de procesamiento y aquellos de una escala menor con trabajo artesanal. Si bien es cierto el grupo industrializado que procesa la madera posee un

sistema de utilización de los desechos en derivados de la producción, queda una importante cantidad en los sectores artesanales, los cuales netamente generan residuos sin ningún uso posterior.

El presente trabajo describe el aprovechamiento de la biomasa forestal con fines energéticos del cantón Riobamba que resulta a partir de los residuos de la industria maderera, y su uso a través de un gasificador de tipo Downdraft, el mismo que ha sido diseñado e implementado en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH con fines investigativos. La importancia de obtener datos reales del potencial aprovechamiento de la biomasa forestal conlleva a un levantamiento de información y una etapa experimental donde se cuantificará los valores de biomasa disponibles y se caracterizará el gas producido. Al obtenerse gas de síntesis como una fuente energética renovable, los usos que se le podría otorgar son térmico o eléctrico a través de un conjunto motor de combustión-generator. La viabilidad económica en la introducción de este tipo de tecnología y la posibilidad de una implementación de una planta piloto, se evalúa en torno a varios parámetros como son: disponibilidad de la materia prima a procesar, localización adecuada de la planta de gasificación, logística para el acopio de la biomasa, usos como fuente de energía térmica y escenarios comparativos frente a los combustibles fósiles de uso común del sector domiciliario e industrial.

La metodología de recopilación de la información y la estructuración del trabajo puede servir de modelo para estudios similares a lo largo del país en zonas donde se detecte la posibilidad de aprovechamiento de la biomasa.

Pregunta de Investigación

¿Existe potencial energético aprovechable de la biomasa forestal residual de la industria maderera en el cantón Riobamba y viabilidad de utilización a través de gasificación tipo downdraft?

Objetivo general

- Realizar el levantamiento y análisis del potencial energético aprovechable de la biomasa forestal residual de la industria maderera en el cantón Riobamba y evaluar su viabilidad a través de gasificación tipo Downdraft.

Objetivos específicos

- Cuantificar e identificar la biomasa forestal residual de la industria maderera aprovechable para fines energéticos en el cantón Riobamba, conjuntamente con la ubicación de los lugares donde se dispone de este recurso.
- Caracterizar el gas producido en el gasificador tipo Downdraft, instalado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Calcular la cantidad de energía aprovechable a partir de biomasa forestal residual de la industria maderera en la localidad e identificar sus aplicaciones más adecuadas.
- Realizar un análisis financiero de la utilidad de la biomasa forestal residual de la industria maderera como energético en el cantón Riobamba y evaluar la viabilidad en la implementación de una planta piloto para el aprovechamiento de la biomasa a través de los parámetros locales.

Alcance

Se realizará un levantamiento de información de la cantidad de biomasa residual forestal generada en todo el cantón Riobamba, a partir de la industria maderera, esto concierne tanto a parroquias urbanas como rurales, identificando y cuantificando las especies que generan esta biomasa, así como también el tipo de residuo; aserrín, viruta, madera trozada y corteza.

Se estimará la cantidad de energía aprovechable de esta biomasa bajo la utilización de un gasificador de tipo downdraft el mismo que cuenta con un sistema básico de acondicionamiento del syngas producido.

Se evaluará económicamente la viabilidad de utilización de este recurso y tecnología como una fuente de energía alternativa en el entorno social de la localidad en tratamiento.

1. MARCO TEÓRICO

Esta sección detalla el elemento teórico necesario en torno a la valoración energética de recursos renovables y la tecnología necesaria para su aprovechamiento, así como también la información existente en la actualidad a nivel nacional y mundial.

1.1. Energía renovable de biomasa, Estado Actual

La energía renovable consiste en energía que es producida o se deriva de fuentes que se renuevan indefinidamente, tales como en el caso de la energía hídrica, solar y eólica, o de fuentes producidas de forma sostenible, tales como la biomasa. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)

A pesar de la predominante existencia pronosticada de los combustibles fósiles, se espera que el uso de las energías renovables registre un aumento, tanto a nivel mundial como nacional. Las proyecciones de la Administración de Información de la Energía de los Estados Unidos (EIA) indican que el crecimiento de las energías renovables será de alrededor del 1,9% anual promedio durante los próximos decenios. Los países industrializados reflejarán mayores aumentos mientras que aquellos que están en vías de desarrollo presentarán menores valores. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 2008)

En términos de la energía de biomasa su tendencia ha sido creciente como se puede ver en la Figura 1.1, pese a que ha tenido que sortear varias dificultades a partir del año 2015 debido al bajo costo del petróleo.

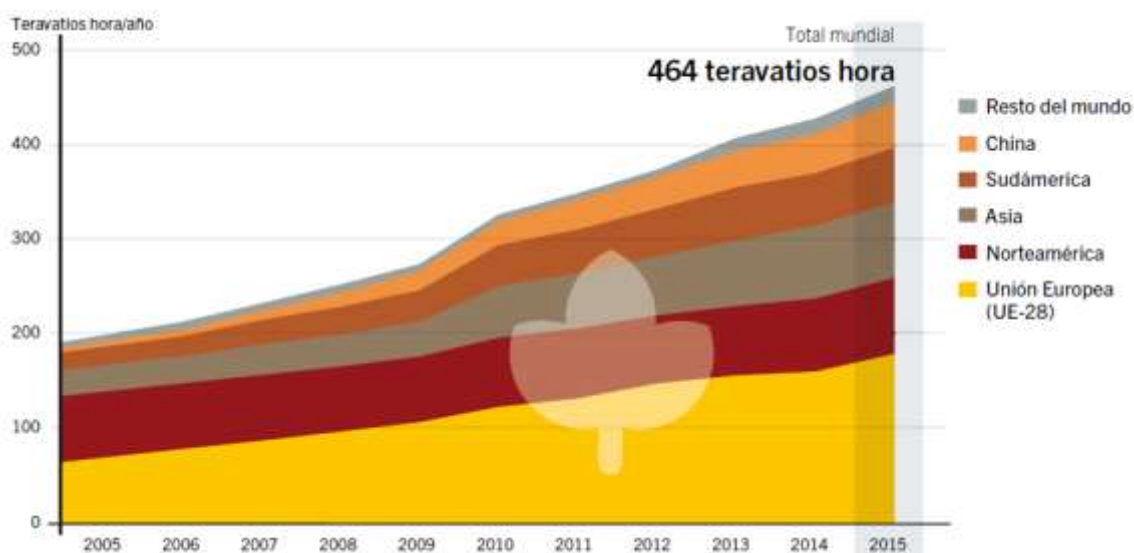


Figura 1.1. Generación mundial de Bio-energía, por país y región, 2005–2015.
Fuente: (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century REN 21, 2016)

Este crecimiento de la energía renovable se nota con una mayor acentuación en América Latina y el Caribe (ALC) en relación con el resto del mundo como se lo puede apreciar en la Figura 1.2.

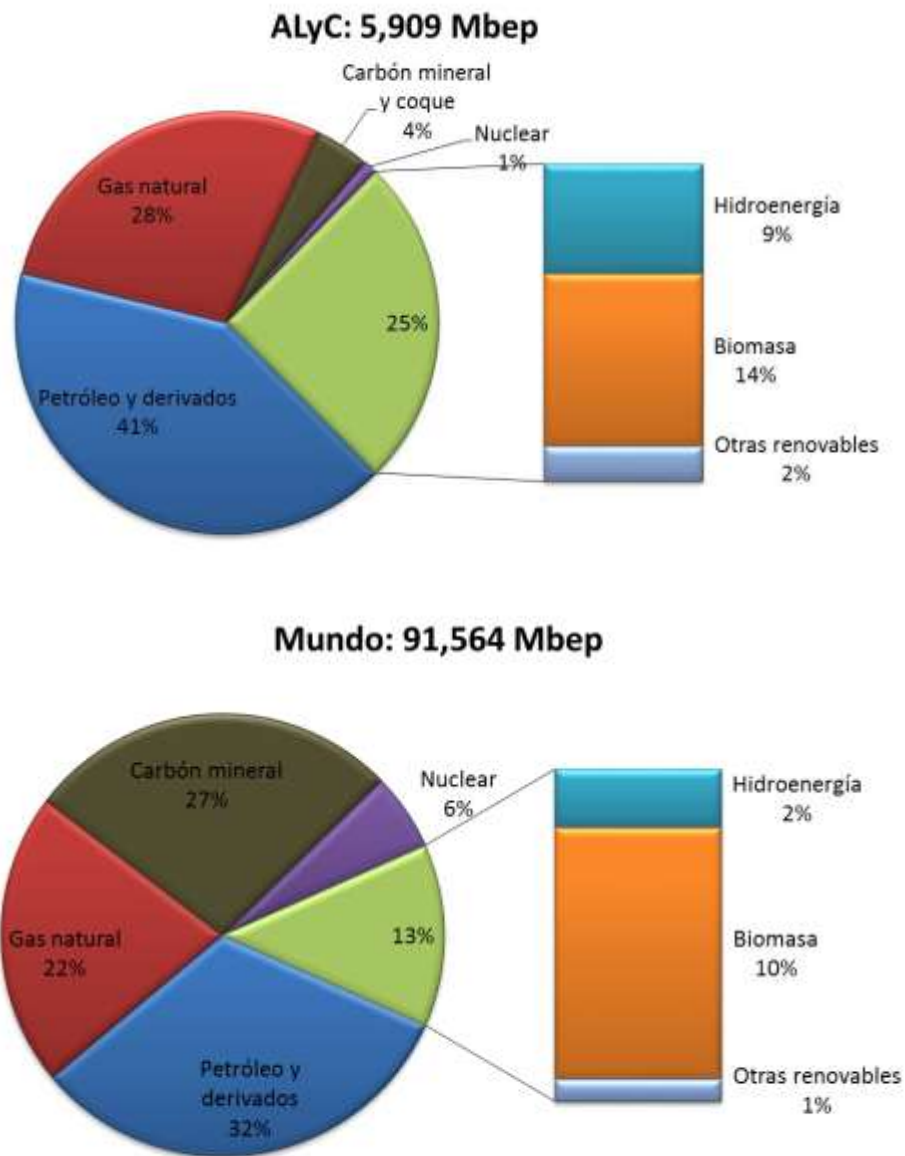
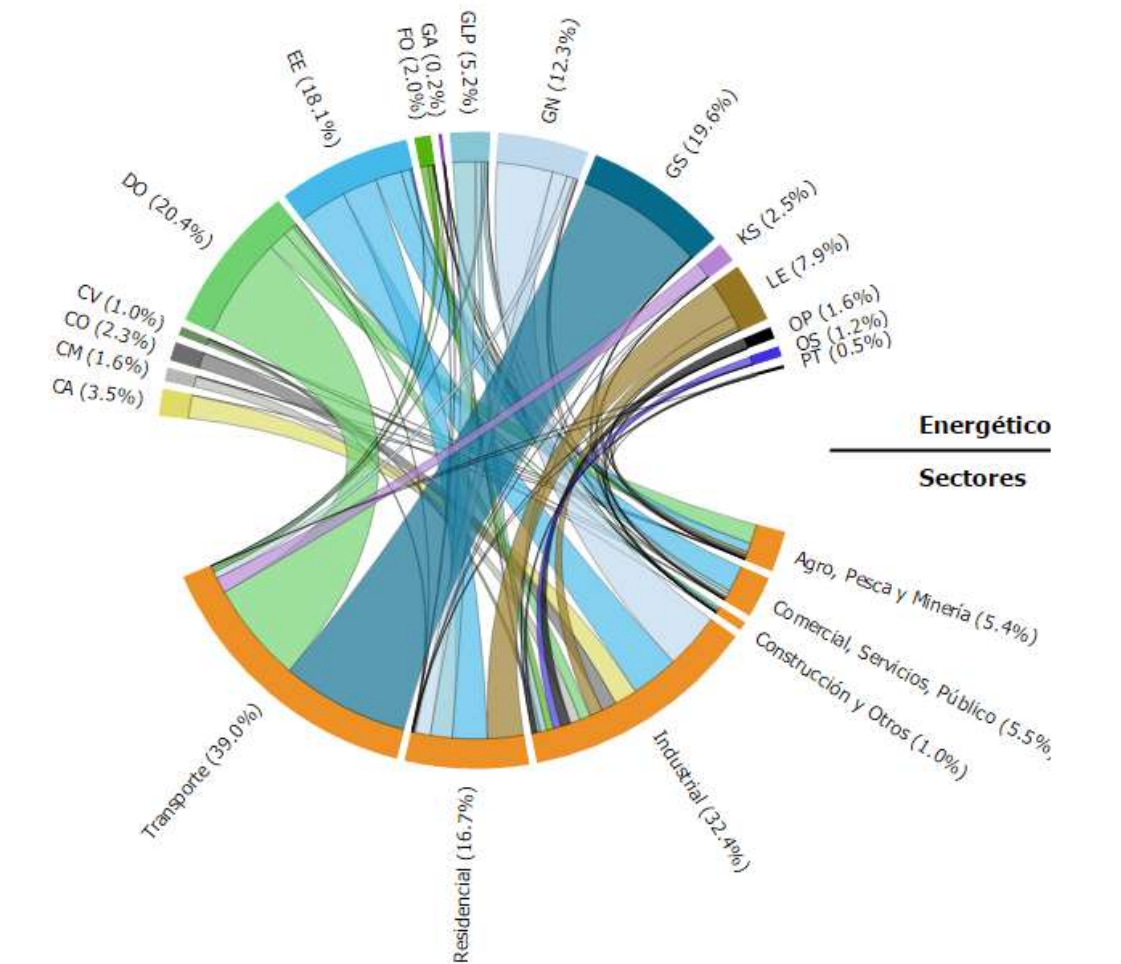


Figura 1.2. Matriz Energética ALC vs Mundo.
Fuente: (Organización Latinoamericana de Energía OLADE, 2014)

Actualmente, las energías renovables se han establecido en todo el mundo como una importante fuente de energía. Su rápido crecimiento, particularmente en el sector eléctrico, es impulsado por diversos factores, incluyendo el aumento de la rentabilidad de las tecnologías renovables; iniciativas de política aplicada; un mejor acceso al financiamiento; seguridad energética y cuestiones de medio ambiente; demanda creciente de energía en economías en desarrollo y emergentes y la necesidad de acceso a una energía modernizada. En consecuencia los países en desarrollo presentan

surgimiento de mercados nuevos tanto para la energía renovable centralizada como para la distribuida. (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century REN 21, 2016)

Según los medios de información de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), en ALC los energéticos de biomasa como son la leña y la caña de azúcar son utilizados específicamente para el sector residencial y para el sector industrial. La caña de azúcar tiene una marcada exclusividad de uso en el sector industrial, mientras que la leña, el 68% sirve al sector residencial y todo lo demás al sector industrial esto se puede observar en la Figura 1.3.



CA	Caña de Azúcar y Derivados	CM	Carbón Mineral	CO	Coque	CV	Carbón Vegetal
DO	Diesel Oil	EE	Electricidad	FO	Fuel Oil	GA	Gases
GLP	Gas Licuado	GN	Gas Natural	GS	Gasolina/Alcohol	KS	Kerosene/Jet fuel
LE	Leña	OP	Otros Primarias	OS	Otras Secundarias	PT	Petróleo

Figura 1.3. Participación del Consumo por Energético y Sectores: América Latina y El Caribe – 2015.

Fuente: (<http://www.olade.org/>)

Al tratarse de Ecuador y haciendo referencia al Balance energético nacional 2016 año base 2015, la producción nacional de energía alcanzó los 225 millones de BEP, el porcentaje de participación de las energías renovables es del 8% en la producción de energía primaria como se había mencionado con anterioridad. Los energéticos de biomasa constituyen el 3% (6,75 millones de BEP) y la hidroenergía el 5% (11,25 millones de BEP). La producción de energías renovables no convencionales (ERNC) tiene como principales autores a los productos de caña y la leña con un porcentaje de 70 y 30% correspondientemente. Esto se muestra en la Figura 1.4.

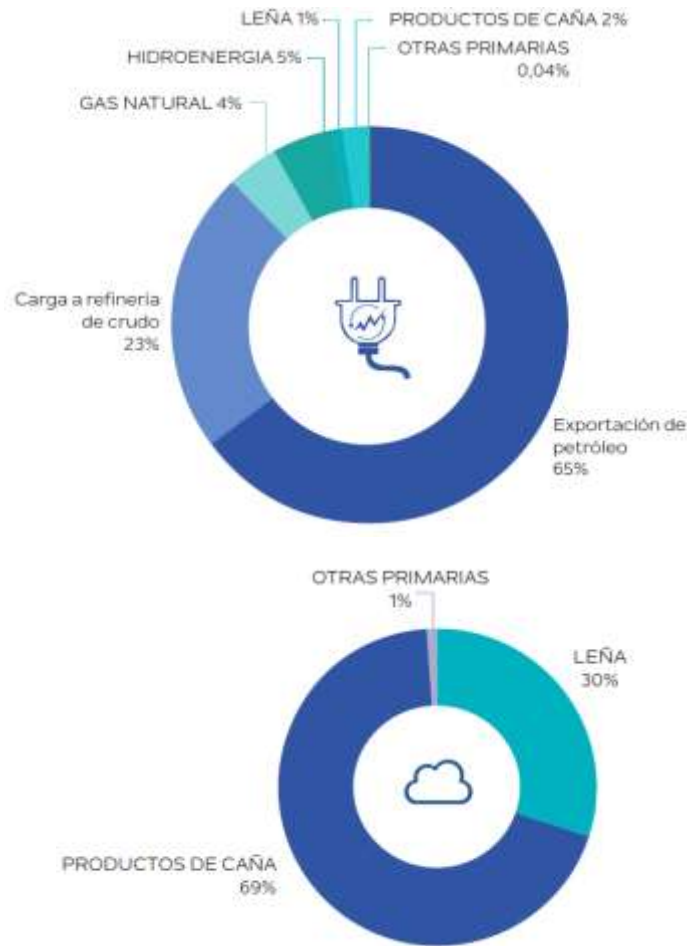


Figura 1.4. Producción de energía primaria 2015.
Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2016)

En nuestro país, los sectores a los cuales son destinados estos energéticos son: Industrial, centrales eléctricas y residencial, algo muy similar a lo que ocurre en ALC. La leña básicamente se destina al sector residencial (84%) y los productos de caña de azúcar se dividen en porcentajes equitativos tanto para el uso directo en el sector industrial como para las centrales eléctricas como se aprecia en las Figuras 1.5 y 1.6.

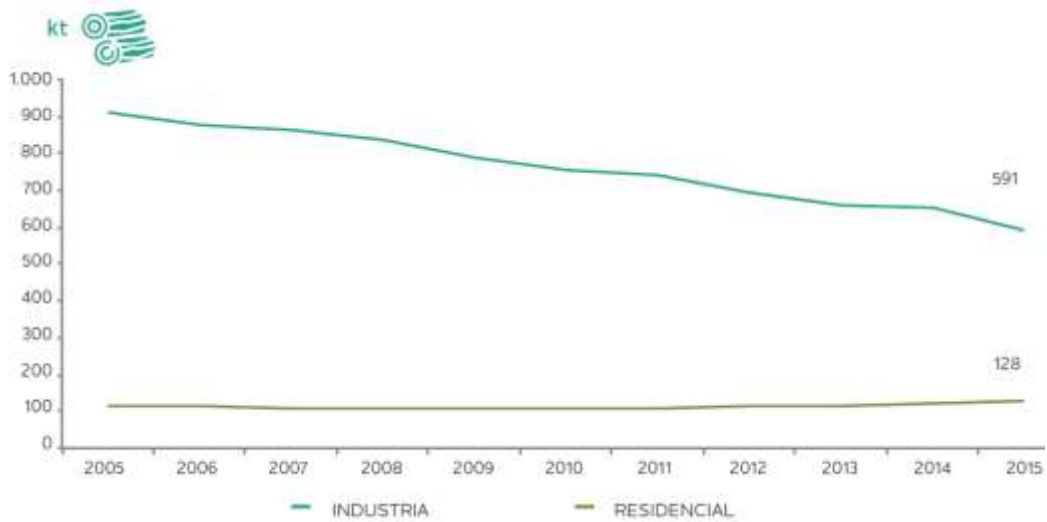


Figura 1.5. Oferta y demanda de leña en Ecuador 2016.
Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2016)

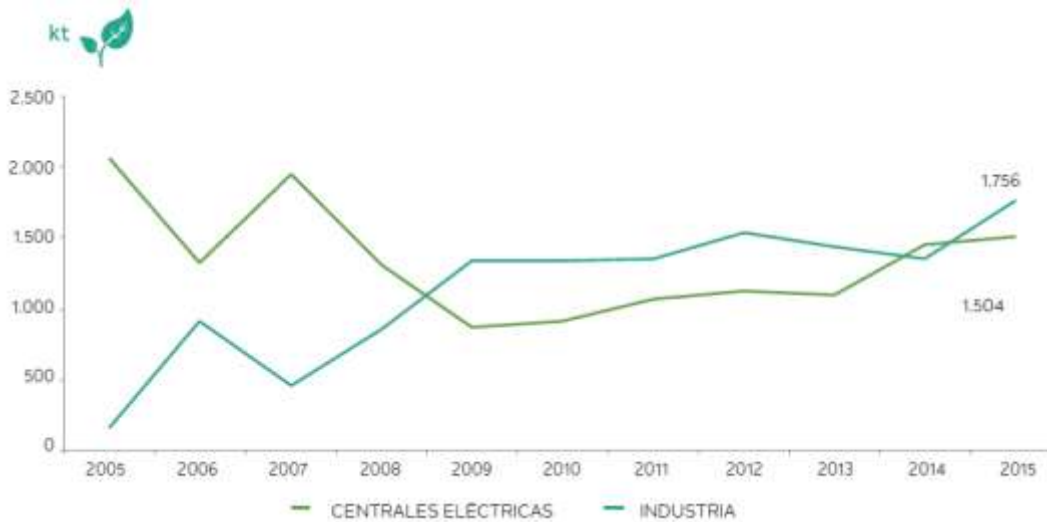


Figura 1.6. Oferta y demanda de productos de caña Ecuador 2016.
Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2016)

Al hablar específicamente de la generación de energía eléctrica (correspondiente a 16,4 millones de BEP), las fuentes son diversas tomando en cuenta incluso las importaciones proveniente del Colombia y Perú. Al año 2015, el mayor aporte lo hace la fuente hidráulica con casi el 49%, seguido de la térmica que alcanza el 47%. La biomasa en este sector representa el 2%. Véase la Figura 1.7.

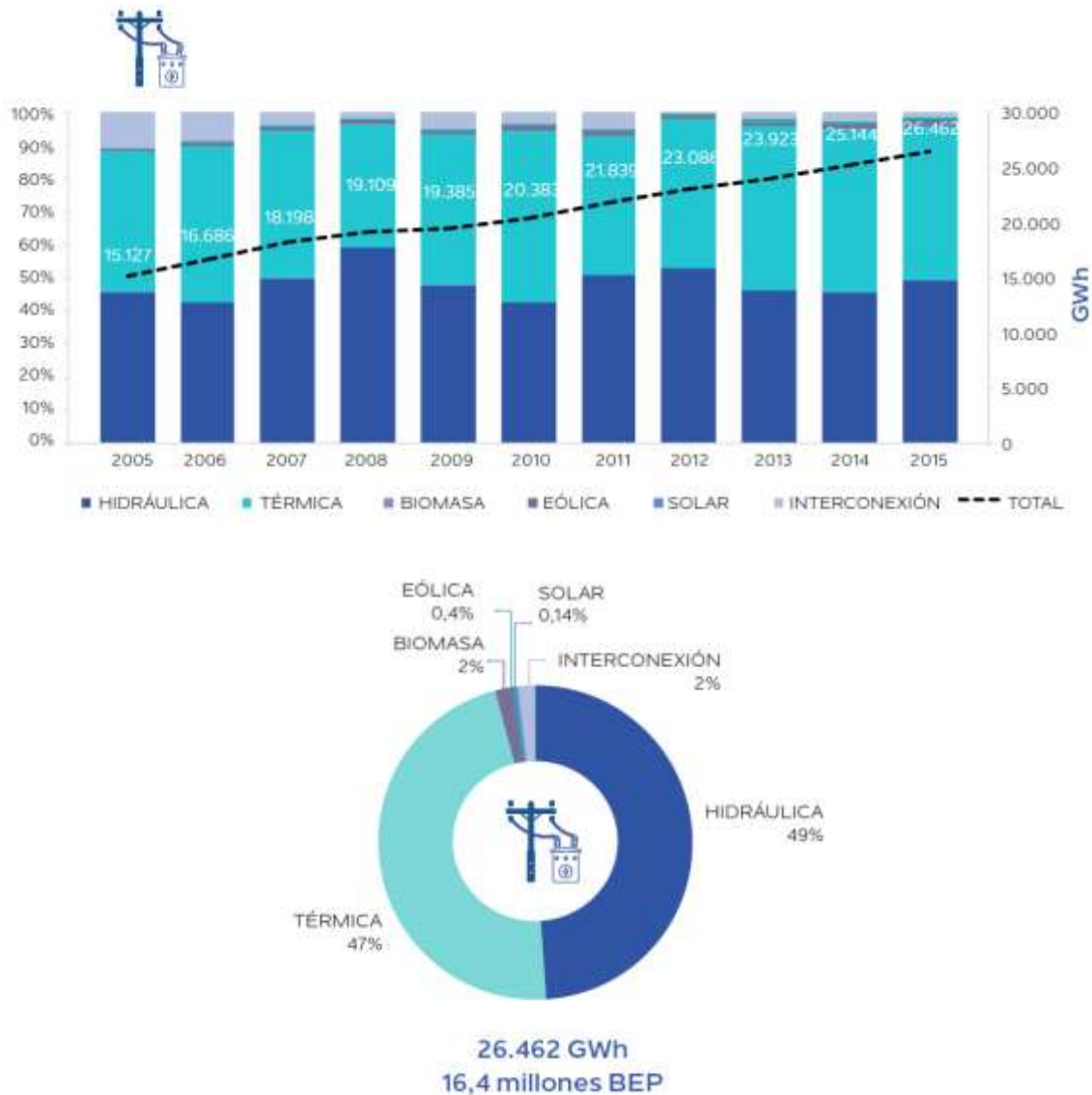


Figura 1.7. Generación eléctrica por fuente, progresión y valores año 2015.
Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2016)

1.2. Sobre la biomasa forestal

Por biomasa se entiende todo compuesto orgánico originado en un proceso biológico, de manera espontáneo o provocado y que es utilizable como fuente de energía; una de sus principales características es su renovabilidad. (Heraz Segura , 2012)

El motor principal de la dinámica de los ecosistemas es la energía solar, la cual se conserva de acuerdo con la Primera Ley de la Termodinámica. No obstante, no toda la energía solar que llega al planeta se incorpora al ecosistema, una parte es reflejada por las capas atmosféricas. La energía solar que llega a la capa superficial de la tierra es parcialmente almacenada en el proceso de crecimiento de la flora en general mediante la fotosíntesis y fluye a lo largo de la cadena trófica. Parte de esta energía es la que se

encuentra almacenada en la biomasa, de ahí que ésta sea considerada como fuente renovable de energía. Ver Figura 1.8. (Heraz Segura , 2012)

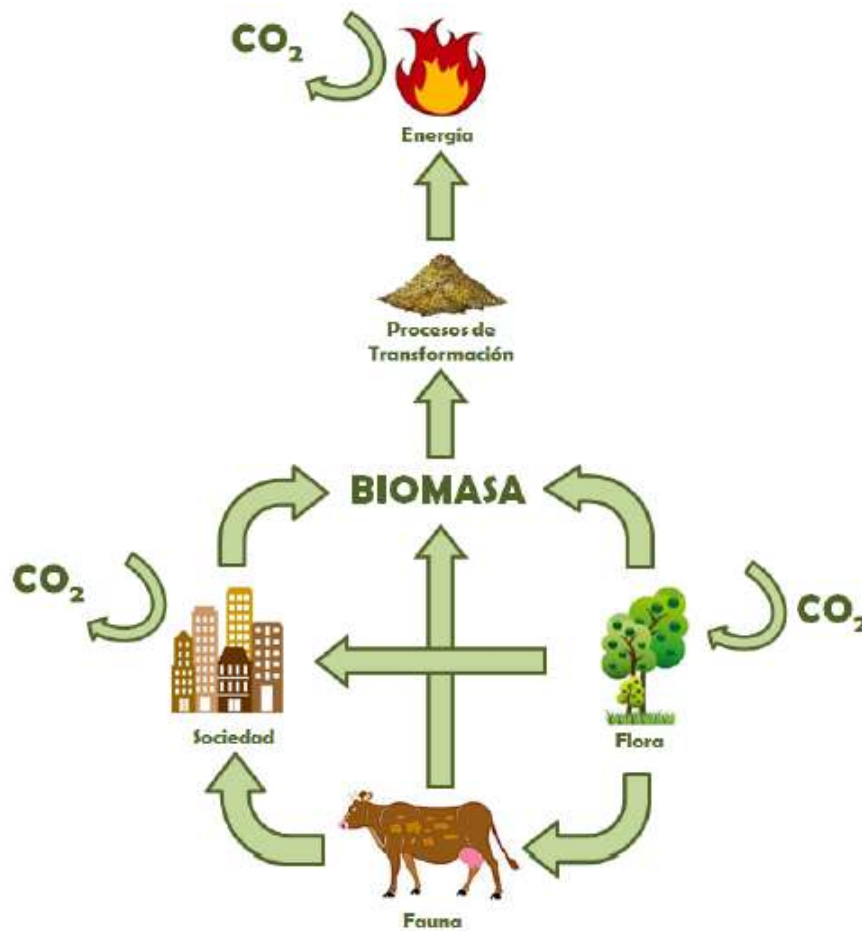


Figura 1.8. Esquema de aprovechamiento de la biomasa.
(Fuente: Propia)

La biomasa se clasifica de la siguiente manera:

Biomasa natural: Biomasa producida en forma espontánea en los ecosistemas naturales, por ejemplo bosques.

Biomasa residual: Son los subproductos derivados de las actividades agrícolas, ganaderas, humanas y forestales, la misma que puede ser seca y húmeda. La biomasa residual seca puede ser aquella procedente de recursos generados por actividad agrícola, industria agroalimentaria, forestal y maderera. En tanto que la biomasa residual húmeda la constituyen los vertidos biodegradables, tales como aguas residuales e industriales incluidos los residuos agrícolas.

Desde el punto de vista ecológico la biomasa puede ser biomasa primaria y biomasa secundaria.

Biomasa primaria: Es aquella que tiene origen en la fotosíntesis y comprende toda la biomasa vegetal.

Biomasa secundaria: Es aquella producida por seres que utilizan para su nutrición la biomasa primaria. Un ejemplo de esto son las deyecciones de animales herbívoros. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)

Al hacer referencia a la biomasa forestal, se conoce que la industria maderera genera grandes volúmenes de residuos durante el proceso de explotación y elaboración de la misma, esta generación ocurre desde antes que la madera sea introducida al proceso propiamente dicho hasta la obtención del producto final. El aprovechamiento de los residuos forestales en los procesos industriales, así como en la esfera residencial, es una necesidad social para disminuir el consumo de combustibles fósiles y el impacto ambiental que ellos producen. Existen una serie de vías para el aprovechamiento de los residuos forestales como el aserrín, viruta, entre otros, los cuales en una cadena industrializada frecuentemente son utilizados para la producción de pulpas, papel, tableros, fertilizantes, etcétera, pero en los sectores que no cuentan con estas planificaciones o tecnologías su utilización como combustible es lo más corriente.

La actividad forestal en los países en vías de desarrollo se basa en la explotación de los bosques naturales y de plantaciones forestales de especies de crecimiento rápido generalmente, en un ciclo constituido por tres grandes componentes: la actividad silvícola, las industrias o talleres de procesamiento primario y los talleres de procesamiento secundario. Los residuos forestales obtenidos en la producción de la madera pueden ser clasificados en dos tipos: subproductos de las actividades de silvicultura y residuos del procesamiento de la madera, estos últimos, por estar concentrados en un lugar determinado su utilización resulta más factible y menos costosa.

Los residuos forestales constituyen una importante fuente de biomasa. Se estima que por cada árbol utilizado para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente alrededor del 20%. Un 40% queda en él como ramas y raíces y el restante 40% en el proceso de aserrado, en forma de astillas, corteza y aserrín. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)

Las Tablas 1.1 y 1.2 indican los tipos de residuos, las fuentes de donde se obtienen y los porcentajes calculados de los mismos; claramente se puede notar que aquella madera que usualmente conocemos para el área de la construcción o productos terminados es tan solo un porcentaje cercano al 30% del total del árbol.

Tabla 1.1. Fuentes de residuos forestales.

FUENTE	TIPO DE RESIDUO
Operaciones forestales	Ramas, agujas, hojas, tocones, raíces, madera de mala calidad y podrida, recortes y aserrín.
Aserrío	Corteza, aserrín, recortes, madera partida, virutas, lijaduras

Fuente: (Organización de las naciones unidas para la agricultura y alimentación FAO, 1991)

Tabla 1.2. Distribución de un árbol corriente apeado para madera de aserrío.

PARTE O PRODUCTO DEL ARBOL	PORCETAJE [%]
Dejado en el Bosque (Operaciones forestales)	
Copa, ramas y follaje	23
Tocón (excluidas las raíces)	10
Aserrín	5
Aserrío	
Virutas, costeros y recortes	17
Aserrín y menudos	7,5
Pérdidas varias	4
Corteza	5,5
Madera aserrada	28
TOTAL	100

Fuente: (Organización de las naciones unidas para la agricultura y alimentación FAO, 1991)

De lo observado en las tablas, teóricamente se puede considerar como biomasa al 70-80 % del total de la madera cosechada. Tanto los residuos forestales de aserrío como aquellos que se quedan en el lugar de la explotación de las especies de árboles, operaciones forestales, son aprovechables energéticamente. Los primeros, aserrío o residuos de industria maderera, presentan una gran ventaja al tener facilidad en su recolección y acopio, las industrias de grandes capacidades manejan una línea de procesamiento para estos residuos y los transforman en otros productos comerciales como los aglomerados, por lo que su aprovechamiento energético no es viable, mientras que las pequeñas industrias y talleres se convierten en verdaderos usuarios finales de la madera y los residuos generados no se destinan a ninguna línea productiva, este grupo es un importante agente a tomar en cuenta para el aprovechamiento energético. Los segundos residuos, aquellos dejados en el lugar de la explotación por operaciones forestales, tienen dificultades técnicas ya que hablamos de ramas y raíces dejadas en el mismo lugar de la tala de árboles, por lo que, se requeriría de maquinaria para su recolección y probablemente en el balance energético global, la energía embebida para esta materia prima sea tan alta que sobrepase el valor de la energía producida final sea por combustión o gasificación. Además Los residuos que produce la explotación forestal son una fuente importante de nutrientes para los bosques y contribuyen a reducir el riesgo de erosión del suelo.

1.3. Transformación de la energía a partir la biomasa forestal

Las características físicas y químicas del material a usarse para el aprovechamiento de energía son las primeras pautas para la selección de la tecnología de transformación, sin embargo existen otros factores que se vuelven determinantes a la hora de tomar una decisión, entre los más destacados se presentan: la facilidad de recolección por la ubicación geográfica, costos de acopio y disponibilidad.

Considerando la Tabla 1.3, se ha establecido que la biomasa de origen forestal al poseer menores niveles de humedad, puede utilizarse en procesos de combustión directa o procesos termoquímicos como la gasificación. En contraposición, cabe anotar que residuos como los pecuarios por su alto contenido de humedad se utilizan en procesos de biodigestión con producción de biogás, véase la Tabla 1.4 la cual indica que dependiendo la cantidad de humedad contenida en la biomasa, los procesos de transformación de su energía se pueden agrupar en dos categorías.

Tabla 1.3. Características físicas de la biomasa.

FUENTE GENERADORA DE BIOMASA	TIPO DE RESIDUO	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS
RESIDUOS FORESTALES	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas	POLVO SÓLIDO, humedad 30-45%
	Restos de ebanistería: aserrín, astillas, madera trozada	SÓLIDO DE BAJA HUMEDAD
	Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces	SÓLIDO, humedad >55%

Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)

Tabla 1.4. Procesos para la transformación de la energía de biomasa.

A PARTIR DE BIOMASA SECA	
Procesos termoquímicos	
COMBUSTIÓN	Calor Electricidad
GASIFICACIÓN	Gas pobre Gas de síntesis Metanol
PIRÓLISIS	Carbón vegetal Aceite de pirólisis Brea vegetal Gases no condensables
A PARTIR DE BIOMASA HÚMEDA O SECA	
Procesos químicos y biológicos	
FERMENTACION ALCOHÓLICA	Bioetanol
TRANSESTERIFICACIÓN Y ESTERIFICACIÓN	Metil ester (biodiesel)
DIGESTIÓN ANAEROBIA (FERMENTACIÓN METÁNICA)	Biogás (metano)

Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)

1.3.1. Gasificación

La gasificación convierte un combustible fósil o no fósil en gases y productos químicos útiles, se requiere de un medio para esta reacción, el cual puede ser aire, oxígeno, vapor o una mezcla de estos. A este gas producto se lo llama de manera general “gas de síntesis” o “syngas”. Las reacciones químicas se generan a una temperatura más alta que una combustión normal (500-1300 °C). Los productos de la gasificación son gases combustibles como el monóxido de carbono (CO), el hidrógeno (H₂) el metano (CH₄) y otros. Las motivaciones principales para hacer uso de la gasificación versus la combustión, son:

- Aumentar el valor calorífico del combustible rechazando componentes no combustibles como el nitrógeno y el agua.
- Eliminar el azufre y el nitrógeno de manera que cuando se queme el combustible gasificado este no los libere a la atmósfera.
- Reducir la relación C/H (carbono-hidrogeno) en la masa del combustible.
- El gas presenta mejores propiedades de combustión respecto al sólido.

Cuando la sustancia gasificante es aire, la reacción da lugar a un gas de bajo poder calorífico que se conoce como “gas pobre”. La calidad del gas está asociada a su poder calorífico, la cantidad de alquitrán y material particulado presente en el mismo; este gas puede ser utilizado con fines energéticos para la producción de calor y/o electricidad con el empleo de hornos, motores de combustión interna, micro turbinas a gas, motores Stirling, células combustibles y sistemas híbridos (Basu, Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: practical design and theory, 2013).

A continuación en las Tablas 1.5 y 1.6 se presentan varios datos teóricos del gas pobre producto de la gasificación. Al observar los datos de las tablas, el gas de síntesis tiene mejores características que el gas pobre pero si bien es más conveniente utilizar este gas en términos energéticos, su producción es inviable pues la obtención de oxígeno o vapor de agua es costosa para la operación de una industria, e incluso en el balance energético global la cantidad de energía utilizada en la producción del gas de síntesis es mayor a la aprovechable del mismo.

Por ello se produce gas pobre, cuando de aprovechamiento de energía renovable se trata, donde el aire agregado es el 25-30% respecto al necesario estequiometricamente para combustionar totalmente la biomasa, de allí que este tipo de proceso se diferencia de una combustión simple y pase a ser en resumen una degradación térmica a través de la carencia de oxígeno.

Tabla 1.5. Poder calorífico inferior de los productos de gasificación.

Agente Gasificante	Nombre del Producto	Poder calorífico [MJ/m ³]
Aire	Gas pobre	4-7
Vapor de agua	Syngas	10-18
Oxígeno	Syngas	12-28

Fuente: (Basu, 2013)

Tabla 1.6. Composición de los productos de gasificación.

Compuesto	Gas pobre [%]	Syngas [%]
Monóxido de carbono CO	11-30	40-50
Dióxido de Carbono CO ₂	6-16	10-20
Hidrogeno H ₂	10-20	25-80
Metano CH ₄	1-3	4-8
Nitrógeno N ₂	50	--

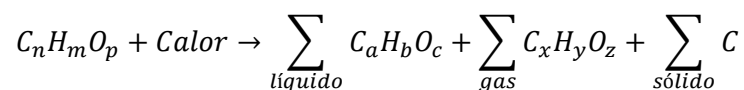
Fuente: (Basu, 2013)

La gasificación de biomasa se vió favorecida en la época de las guerras mundiales en Europa, dada la escasez de petróleo. Pasada la segunda guerra su utilización se abandonó casi por completo, siendo retomada actualmente al vislumbrarse el agotamiento de las reservas energéticas a nivel mundial. En varios países del hemisferio oriental la gasificación se ha vuelto a utilizar para la generación de energía y para la combustión en algunos procesos industriales (Cabrera, Madriñán, & Muñoz, 2012).

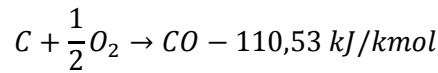
1.3.2. Proceso de gasificación

La gasificación es un proceso termoquímico que transforma los materiales carbonosos como la biomasa en combustibles gaseosos útiles. La combustión también convierte los materiales carbonosos en gases pero a diferencia de la gasificación, estos gases no tienen poder calorífico de utilidad. La gasificación empaqueta la energía en enlaces químicos mientras la combustión los libera. (Basu, Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: practical design and theory, 2013)

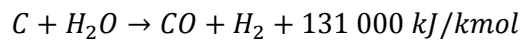
Se puede describir de manera general las fases del proceso de gasificación, primeramente se tiene la fase de secado, donde se extrae la humedad que contiene la biomasa, posteriormente entra a la zona de pirolisis donde se produce la primera reacción termoquímica produciéndose carbonizado y volátiles, es la fase en donde propiamente se produce una descomposición térmica de la biomasa en gas, líquido y sólido. Existe concentración de carbono en los compuestos pero también está presente y en combinación el hidrogeno y el oxígeno.



Los productos de la pirólisis más el agua evaporada del secado entran ahora a la zona de gasificación donde se encuentra con el agente gasificante (siempre en restricción de oxígeno) y reaccionan en un entorno creado por la temperatura.



El carbono C y el dióxido de carbono pasan a ser CO (gas combustible). Adicionalmente se reducen los alquitranes. Esta mezcla de gas producto es conocido como gas de síntesis.



La mayor parte de reacciones de la gasificación son endotérmicas, por tal motivo en la fase de combustión parte de los gases combustibles reaccionan con el oxígeno exotérmicamente y liberan energía para que el ciclo completo continúe. La materia prima ha pasado de ser un sólido a degradarse térmicamente y separarse en tres partes, una gaseosa, que es el producto mismo de la gasificación (gas pobre), una líquida que es el alquitrán y una sólida residual que son las cenizas.

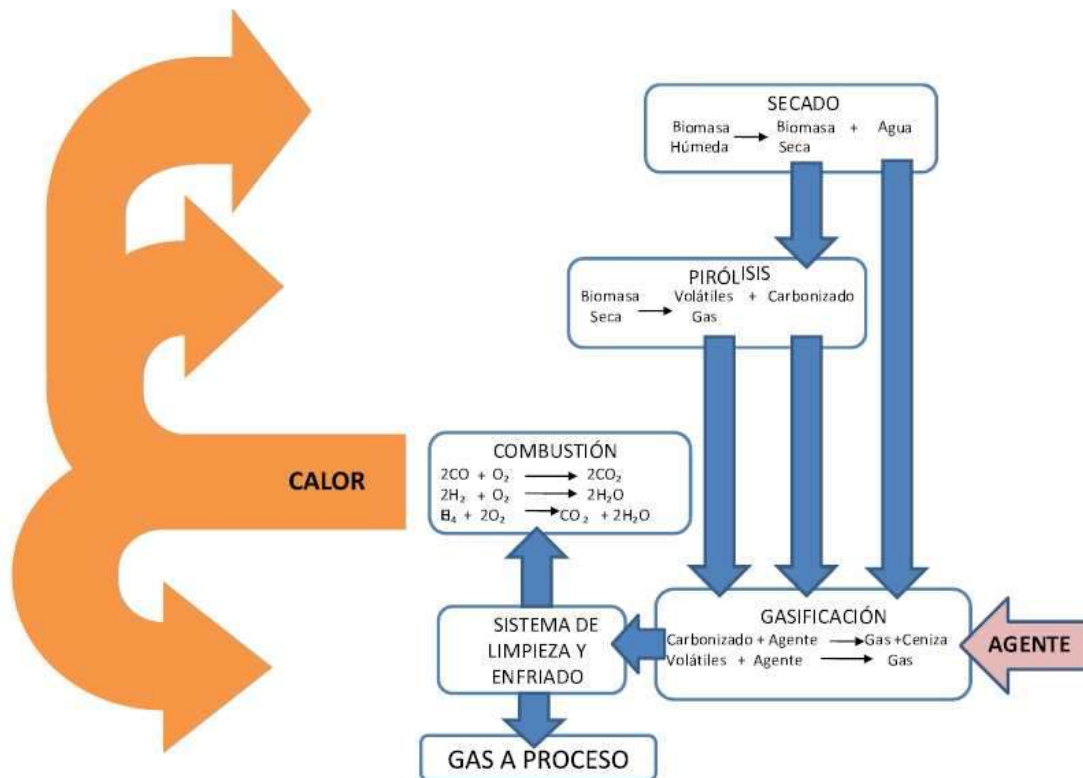


Figura 1.9. Esquema del proceso de gasificación.
Fuente: (García Fernández, 2011)

Cabe anotar que en la fase inicial de operación del equipo el suministro de energía se hace por medio de una fuente externa donde se combustiona completamente la biomasa para calentar el equipo, este tiempo es muy importante a pesar de que no se genere gas de síntesis; posteriormente cuando el proceso se estabiliza y comienza la producción de gas, se utiliza una fracción del gas producido para el suministro de energía necesario para mantener el proceso. (Basu, Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: practical design and theory, 2013)

1.3.3. Tipos de gasificadores

Los gasificadores se clasifican principalmente por su modo de contacto gas-sólido, es decir entre el medio gasificante y el combustible, y son tres tipos principales: Flujo arrastrado, lecho fijo/lecho móvil y lecho fluidizado. Cada uno se subdivide en tipos específicos como se muestra en la Figura 1.10.

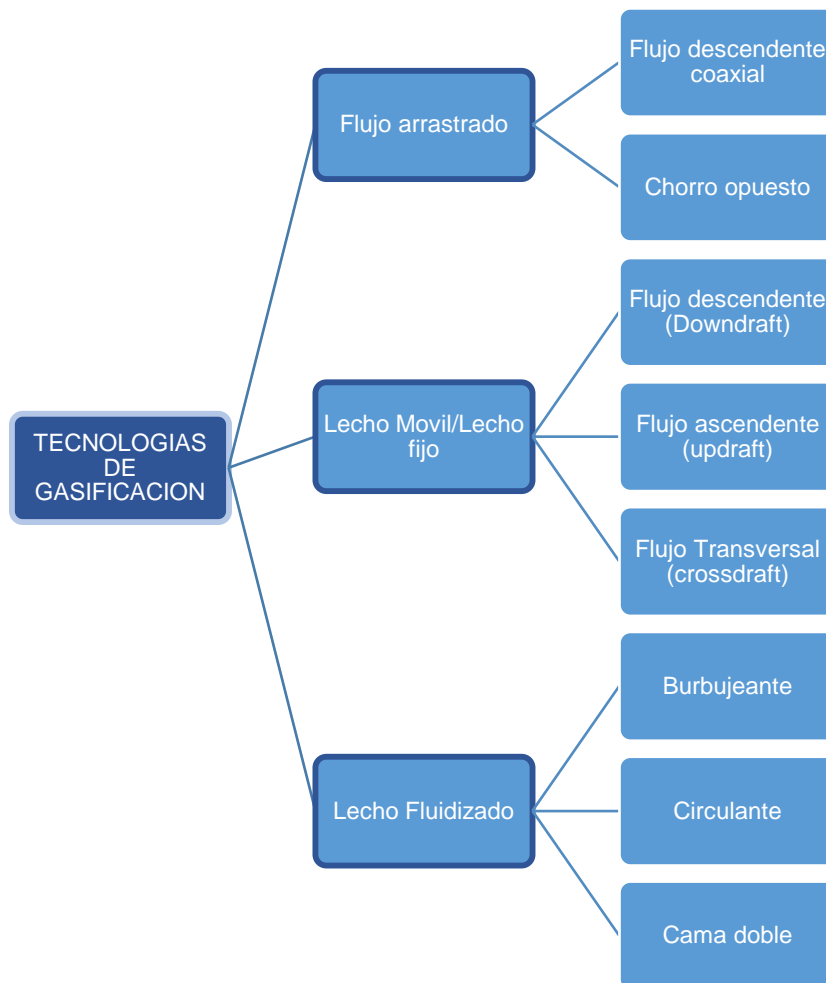


Figura 1.10. Tecnologías de Gasificación.
Fuente: (Basu, Biomass gasification and pyrolysis: Practical Design, 2010)

Gasificador de Flujo arrastrado: Es un diseño de gasificador muy exitoso utilizado ampliamente para gasificar a gran escala el carbón, residuos de refinería, coque de petróleo, pero no con tanta idoneidad para biomasa debido a que el corto tiempo de residencia del combustible en el reactor demanda partículas muy finas y fibrosas. Cuando las cenizas de biomasa se funden estas son altamente agresivas y acortan la vida útil del revestimiento refractario. El modelo más utilizado es el de flujo descendente coaxial donde la temperatura de trabajo sobrepasa los 1000 °C y se obtiene un gas producto casi libre de alquitrán. Véase la Figura 1.11.

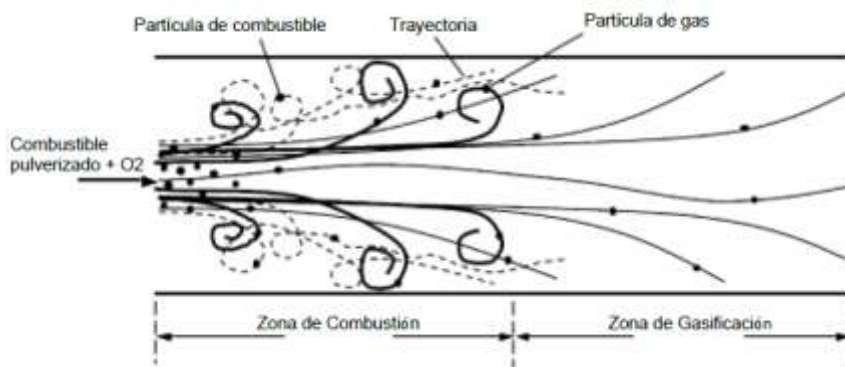


Figura 1.11. Boceto simplificado del flujo de gas-sólido en un gasificador de flujo arrastrado. Fuente: (Basu, Biomass gasification and pyrolysis: Practical Design, 2010)

Gasificador de flujo ascendente, Updraft: Es el tipo de gasificador más antiguo que existe, la biomasa de alimentación ingresa por la parte superior, en tanto que el agente gasificante ingresa por la parte inferior. Como ventajas esta la simplicidad de su diseño, alta proporción de carbón vegetal quemado e intercambio interno de calor que motiva unas bajas temperaturas de salida del gas, alta eficiencia del equipo y posibilidad de funcionar con muchos tipos de carga (serrín, cascaras de cereales, etc.). La desventaja principal es la eliminación de líquidos condensados que contienen alquitranes. Es adecuado para la cocción donde el gas producido es quemado directamente en un horno o caldera sin limpieza o refrigeración requerida. Véase la Figura 1.12.

Gasificador de flujo descendente, Downdraft: Este diseño soluciona el inconveniente de la cantidad excesiva de alquitrán, el gas producido sale por la parte inferior del equipo y tiene una trayectoria paralela a la biomasa de alimentación que ingresa, la misma que debe cumplir ciertas características físicas para no apelmazar su concentración dentro del equipo, por cuanto el aire que debe ingresar no circularía adecuadamente; esto último se consideraría una desventaja y adicionalmente, en comparación con el gasificador Updraft, la eficiencia es un poco menor por la falta de intercambio interno de calor. La ventaja del bajo contenido de alquitrán, lo hace adecuado para que su gas producto sea utilizado en motores de combustión. Véase la Figura 1.13.

Gasificador de flujo transversal, Crossdraft: Para este tipo de gasificador, el proceso genera altas temperaturas (1500 °C), por lo que el mismo combustible sirve de aislamiento para la instalación. Funcionan muy bien en pequeñas escalas, para generadores de hasta 10 kW. Uno de los inconvenientes es la necesidad de utilizar carbón vegetal de óptima calidad de tal manera que no exista gran cantidad de producción de alquitrán. Su tiempo de arranque es corto en comparación con los de flujo ascendente y descendente siendo beneficioso llamativos cuando la operación tiene cambios de carga, también pueden funcionar en motores con un sistema sencillo de limpieza del gas. Figura 1.14.

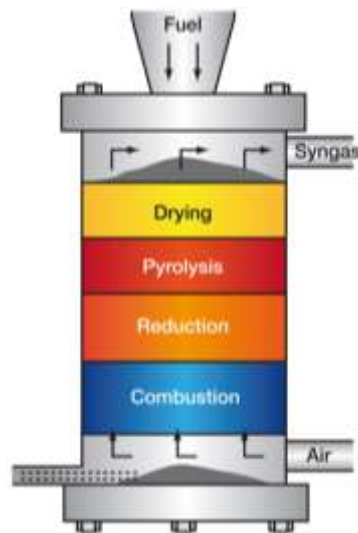


Figura 1.12. Gasificador de tiro ascendente, Updraft.
Fuente: (<http://www.gbgasifired.com/model.html>)

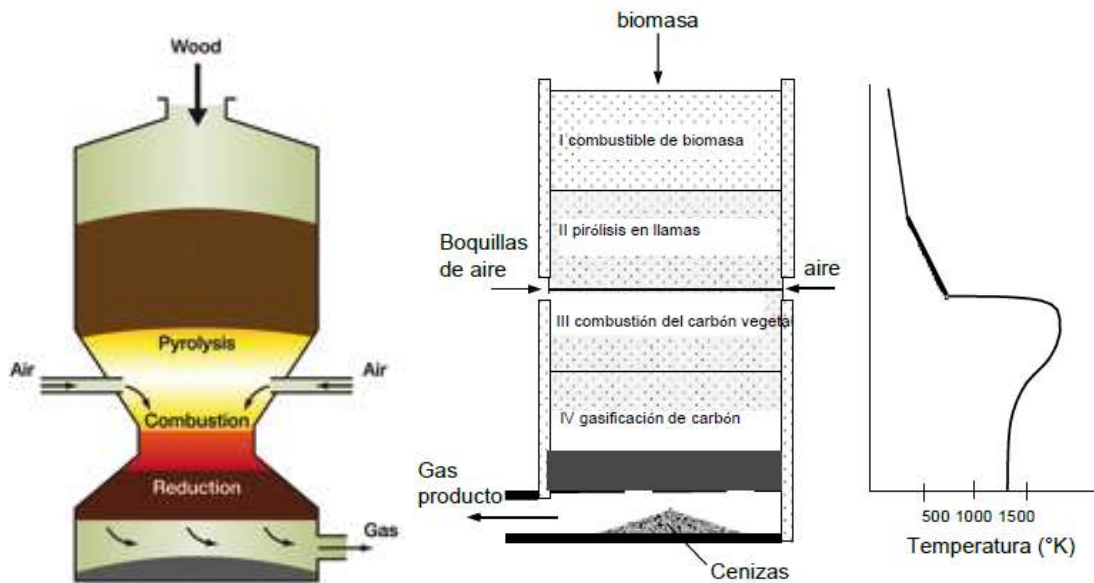


Figura 1.13. Gasificador de tiro descendente, Downdraft.
Fuente: (<http://www.gbgasifired.com/model.html>)

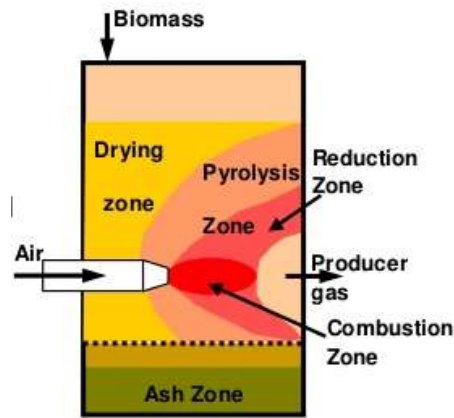


Figura 1.14. Gasificador de tiro transversal, Crossdraft.
Fuente: (<http://www.gbgasifired.com/model.html>)

Gasificador de lecho fluidizado: Los problemas que se encuentran con frecuencia en los gasificadores anteriormente descritos son: la falta de tiro en el depósito, la formación de escoria y la excesiva caída de presión en el gasificador, debido a que se ven afectados por las propiedades morfológicas, físicas y químicas del combustible. El gasificador de lecho fluidizado corrige estos errores al soplar aire a través de un lecho de partículas sólidas a velocidad suficiente para mantenerlas en estado de suspensión y otra de las ventajas notables es la posibilidad de trabajar con una amplia variedad de biomasa, inclusive de grano muy fino. Su inconveniente es la generación de alto contenido de alquitrán (valor promedio de 10 g/Nm^3) y la mala respuesta a los cambios de carga, por lo que una planta de pequeña capacidad no tendría un adecuado funcionamiento, sin embargo potencias instaladas por encima de los 500 kW han demostrado un óptimo comportamiento. Figura 1.15.

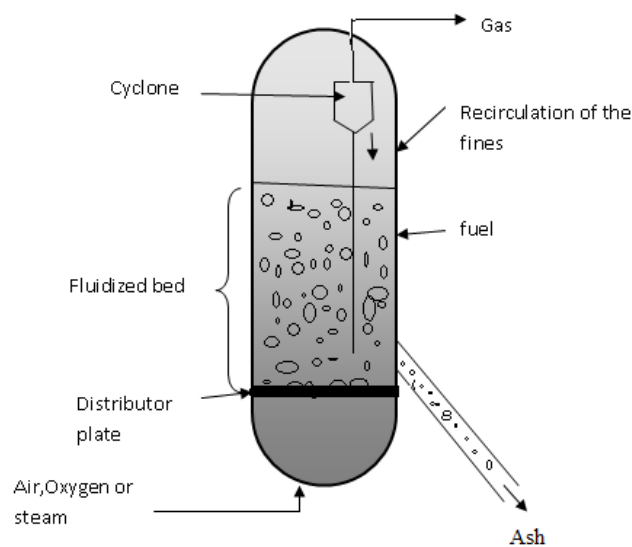


Figura 1.15. Gasificador de lecho fluidizado.
Fuente: (<https://www.intechopen.com/books/gasification-for-practical-applications/lower-order-modeling-and-control-of-alstom-fluidized-bed-gasifier>)

A manera de resumen, existe un rango de potencia adecuada para el funcionamiento de cada gasificador. En general se podría decir que los de tipo downdraft y updraft se utilizan para unidades pequeñas (10 kW – 10 MW), los de lecho fluidizado para unidades intermedias (5 MW – 100 MW) y aquellos de flujo arrastrado se utilizan para unidades de gran capacidad (>50 MW), esto se puede apreciar en la Figura 1.16.

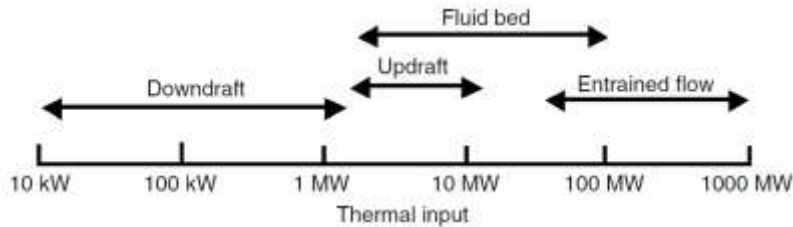


Figura 1.16. Rango de aplicabilidad para gasificadores de biomasa.
Fuente: (Basu, Biomass gasification and pyrolysis: Practical Design, 2010)

En una encuesta realizada en Europa, Estados Unidos y Canadá, los gasificadores más comunes son los downdraft con el 75% de las instalaciones, lecho fluidizado el 20%, updraft 2,5% y de otros tipos de diseño 2,5%. (Basu, Biomass gasification and pyrolysis: Practical Design, 2010). A continuación en la Tabla 1.7 hay una comparativa de las principales características de los gasificadores de lecho móvil/lecho fijo. Se puede notar que cada uno de los gasificadores tiene características propias de su funcionamiento y de las propiedades de la biomasa que procesan, estas mismas serán las que determinen su selección para un determinado uso.

Tabla 1.7. Características de los gasificadores Lecho fijo.

COMBSUTIBLE (MADERA)	UPDRAFT	DOWNDRAFT	CROSSDRAFT
Humedad (%)	60 máx.	25 máx.	10 - 20
Cenizas seca (%)	25 máx.	6 máx.	0,5 - 1,0
Temperatura de fusión de ceniza (°C)	>1000	>1250	
Tamaño (mm)	5 - 100	20 - 100	5 - 20
Rango de aplicación (MW)	2 - 30	0,01 - 2	
Temperatura de salida de gas (°C)	200 - 400	700	1250
Alquitrán (g/Nm ³)	30 - 150	0,015 - 3,0	0,01 - 0,1
PCI de gas (MJ/ Nm ³)	5 - 6	4,5 - 5,0	4,0 - 4,5
Eficiencia gas caliente (%)	90 - 95	85 - 90	75 - 90
Relación de rechazo (-)	5 - 10	3 - 4	2 - 3
Carga en el hogar (MW/m ²)	<2,8		

Fuente: (Basu, Biomass gasification and pyrolysis: Practical Design, 2010)

1.4. Comparación de la gasificación y la combustión

Después de describir el proceso de gasificación resulta inmediata las preguntas: ¿Por qué gasificar la biomasa?, ¿No tiene más sentido quemar directamente el combustible para producir energía térmica?

En un ejemplo práctico, se puede comparar dos plantas de generación de energía eléctrica que tengan como combustible el carbón, la primera será por medio de Gasificación integrada en ciclo combinado (GICC) y la segunda una Planta de caldera de carbón pulverizado.

Para un determinado caudal másico de combustible el volumen de gas obtenido en la gasificación es mucho menor comparado con el sistema de combustión directa, con un menor volumen de gas se necesitaría un equipo más pequeño y por tanto costes globales inferiores.

Un combustible que ha sido gasificado puede ser útil en una gama más amplia de aplicaciones, inclusive su distribución para usos industriales o domésticos y su transporte es menos costoso e intensivo.

El valor de concentración de CO₂ en el producto de gasificación es más alto que en el de combustión, por lo que sería menos costoso separa y secuestrar el CO₂ de una GICC

Las emisiones de azufre en una GICC son más bajas en comparación de una combustión, El azufre en una planta de gasificación aparece como H₂S y COS, que pueden ser fácilmente convertidos en azufre elemental vendible, En un sistema de combustión de azufre aparece como SO₂, que necesita un depurador producir CaSO₄, que tiene menos potencial de mercado.

La gasificación produce menos NO_x.

La totalidad de residuos sólidos generados en una GICC es menor que en una instalación de combustión comparable.

Si lo que se requiere es trabajo mecánico o eléctrico en un lugar determinado, una solución podría ser un gasificador y un motor de combustión interna. En cambio con un sistema de combustión se requiere de una caldera, una máquina de vapor, un condensador que a la final son equipos más voluminosos y en conjunto más caros.

Si solo el calor es la única forma de energía deseable, la preferencia se inclina en cierto grado a la combustión especialmente en plantas de pequeña escala.

1.5. Biomasa forestal como energía renovable y su relación con el medio ambiente

Actualmente la producción y el uso de la energía representan 2/3 de las emisiones responsables del cambio climático. Al mismo tiempo, las oportunidades de seguir un patrón sustentable nunca han sido tan buenas y emergentes. Los ciudadanos demandan

más energía limpia y confiable, los gobiernos están trabajando por conseguir economías bajas en carbón y; las energías renovables como la hidroeléctrica, la solar y eólica son cada vez más competitivas. La región de ALC representa cerca del 5% de las emisiones mundiales provenientes de la energía. Las emisiones provenientes de energía representan el 40% de las emisiones totales de la región, el 20% corresponden a la agricultura, 32% son del cambio de uso de suelo y silvicultura, 5% a residuos y 3% a los procesos industriales (López & Moscoso, 2016), como se puede observar en la Figura 1.17.

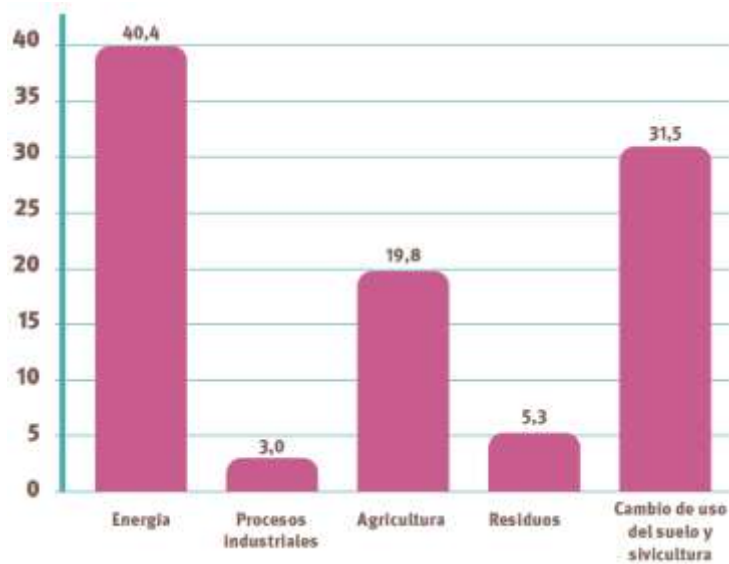


Figura 1.17. América Latina y el Caribe: Porcentaje de participación en la emisión de gases efecto invernadero.
Fuente: (López & Moscoso, 2016)

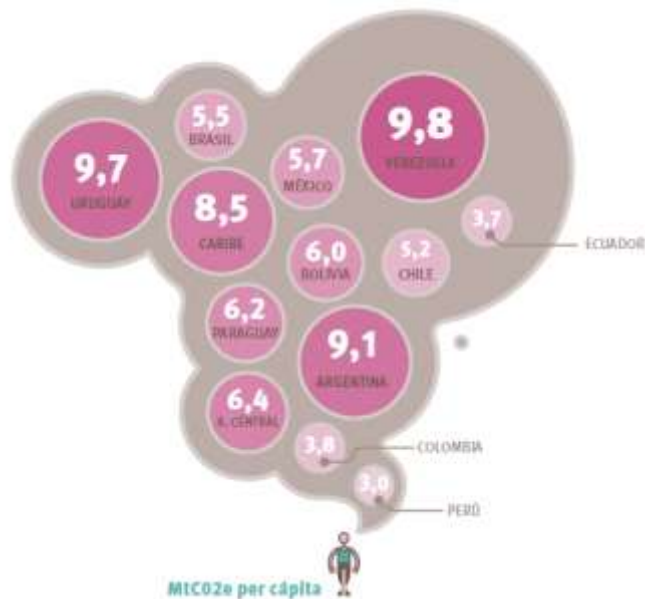


Figura 1.18. Gases de efecto invernadero per cápita en ALC, tCO₂.
Fuente: (López & Moscoso, 2016)

El valor promedio de generación de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial es de 11,6 toneladas métricas de CO₂ anuales per cápita. En la región algunos países se acercan a 10 toneladas y los demás permanecen por debajo de este valor. Véase la Figura 1.18. Es necesario que la región realice esfuerzos que le permitan reducir emisiones anuales per cápita. Algunos estudios recomiendan que podría darse una reducción de 7.6 toneladas de CO₂ a 2 toneladas para el año 2050 y menos de 1 tonelada para finales del siglo 21. (López & Moscoso, 2016)

Como se puede apreciar en esta rápida contextualización, el Ecuador representa el 0,2% de generación de CO₂ a nivel mundial, las acciones aplicadas a la reducción de los mismos, si bien no tendrán un impacto fuerte a escala global, representarán una actitud ética, coordinada y eficiente del manejo de los mismos, además de asegurar el bienestar de los habitantes en su entorno por la mejora de la calidad local del medio ambiente.

La biomasa de madera es una fuente renovable y neutra de CO₂, que si se utiliza de una manera sostenible y eficiente puede contribuir a un medio ambiente más limpio.

Mediante la fotosíntesis, los bosques deben absorber CO₂ del ambiente y luego lo fijan en la plantas como carbono y liberan oxígeno a la atmosfera. La explotación de madera con fines industriales genera variedad de residuos o desechos, estos pueden ser combustionados directamente o entrar en un proceso de gasificación, en cualquiera de los dos casos, su utilización genera CO₂ al medio ambiente por su proceso de quemado. Este dióxido de carbono es captado nuevamente por los bosques en crecimiento y aquellos que han sido generados por reforestación. A continuación se visualiza un esquema este ciclo en la Figura 1.19.

Es importante observar que la bioenergía forestal solo se considera renovable si el crecimiento de la biomasa excede la cosecha, y el dióxido de carbono emitido durante la producción, transporte y elaboración no supera al que ha sido capturado por la biomasa cosechada para obtener energía. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación FAO, 2008)

En los países en desarrollo los residuos madereros sobrantes que quedan en los aserraderos, que por lo general no son utilizados, pueden crear problemas ambientales perjudiciales. Si con estos residuos se produjera energía, se resolverían tanto los problemas energéticos como los de eliminación de residuos. Para la combustión de los residuos, se emplean máquinas de vapor sencillas que producen electricidad. Varias calderas de generación de vapor son alimentadas con residuos forestales como corteza

y madera trozada, estas mismas se pueden integrar en los aserraderos como una alternativa para la utilización de los residuos. Las calderas de recuperación tienen una función similar en las fábricas de papel. Para aprovechar mejor aún la energía en estos procesos es conveniente analizar el diseño de estos ciclos de vapor con cogeneración.

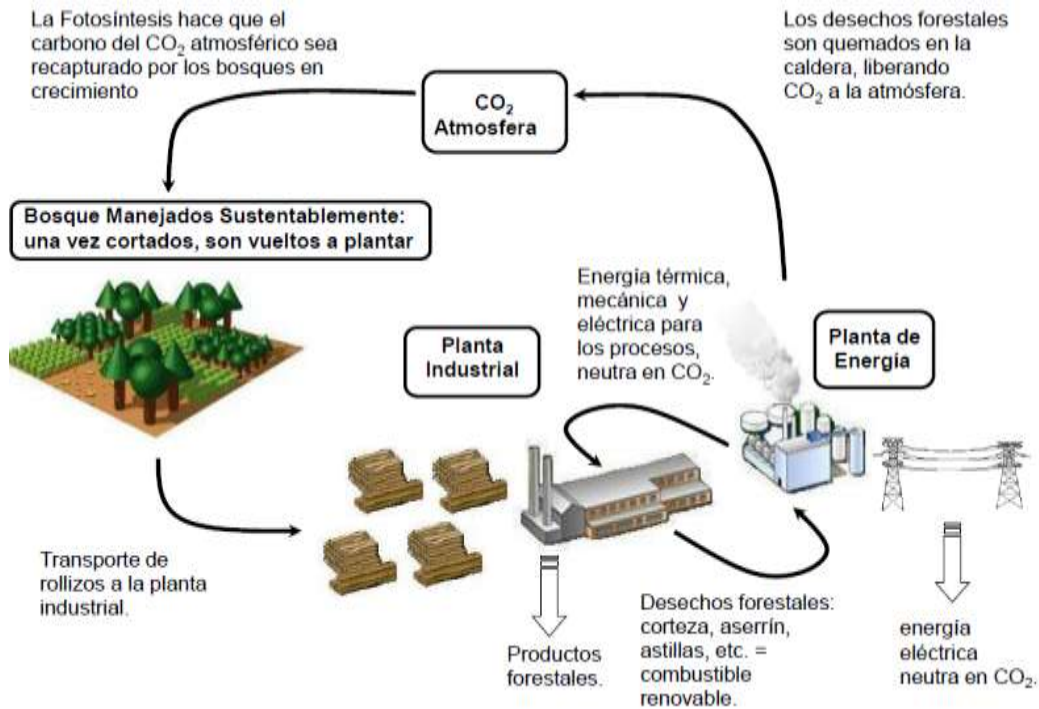


Figura 1.19. Esquema de ciclo de CO₂ en la utilización de la Dendroenergía.

Fuente: (<http://www.bioeconomia.mincyt.gov.ar/wp-content/uploads/2014/12/7.-Dendroenerg%C3%ADa-Su-contribuci%C3%B3n-a-la-matriz-energ%C3%A9tica-del-pa%C3%ADs-Constantino-Zaderenko.pdf>)

La eficiencia de un ciclo de generación de vapor convencional es por lo general del 40%, mientras que las plantas reales de cogeneración tienen factores de utilización tan altos como el 80%. (Yunus & Michael, 2011)

Ahora, si continuamos con la cadena de transformación de la energía y el objetivo es la generación eléctrica, mediante la gasificación se pueden alcanzar rendimientos eléctricos de hasta un 30-32% a través del uso de moto-generadores accionados por syngas, mientras que con un ciclo Rankine convencional simple las cifras rondan un 22% de rendimiento eléctrico. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE, 2007)

Las plantas de gasificación son la mejor alternativa cuando la escala de suministro de energía es pequeña, el costo de generación es más bajo que con generadores de diésel. A nivel mundial la aplicación de gasificadores presenta un inconveniente que es la disponibilidad de la materia prima y los costos de sus insumos.

En términos medioambientales, la eficiencia de carbono de los sistemas de cogeneración basados en la madera es generalmente alta respecto a las fuentes de energía no renovables y a la mayoría de los demás biocombustibles, una instalación eléctrica de ciclo combinado alimentada con astillas liberaba tan sólo 60 g de CO₂ por kilovatio de energía producida. Una instalación análoga, alimentada con gas natural, liberaba alrededor de 427 g de CO₂. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación FAO, 2008)

Al realizar el estudio en el cantón Riobamba se detectó que en varios lugares, tanto urbanos como rurales, los residuos forestales que aparecían por la actividad económica del establecimiento demandaban un gasto económico para llevar a cabo su desalojo hacia áreas no urbanizadas donde prácticamente se acumulaba basura de todo tipo para posteriormente quemar los mismos, con lo cual se hace notable la contaminación que produce el no tener un adecuado tratamiento final de esta biomasa.

2. METODOLOGÍA

La primera etapa del presente trabajo se basa de manera sustancial en el levantamiento de la información de la biomasa forestal residual de la industria maderera a través de un censo realizado por grupos de investigación de la ESPOCH en el cantón Riobamba a todos los establecimientos que trabajen con madera, para conocer la cantidad disponible, características y localización; luego se caracteriza el gas producido para estimar el potencial energético aprovechable y las alternativas de utilización en el entorno socio-económico local.

Para la recolección de datos se ha identificado el área de trabajo que será el cantón Riobamba en su totalidad 980 km². Cuenta con cinco parroquias urbanas que son: Lizarzaburu, Maldonado, Velasco, Veloz y Yaruquíes que en total suman 59 km² y once parroquias rurales: Cacha, Calpi, Cubijíes, Flores, Licán, Licto, Pungalá, Punín, Químiag, San Juan y San Luis. (GAD provincial de Chimborazo, 2015). Lo que se requiere es realizar un barrido total de la superficie para identificar los lugares donde trabajen con madera o derivados, tales como aserraderos, talleres primarios, secundarios y puntos de expendio; para lo cual al área urbana se la dividió en 24 sectores con un promedio de 100 manzanas o bloques y cada parroquia rural conforma por sí misma un sector, es decir que en total se tuvieron 35 sectores para el estudio. A cada sector se asignaron 3 estudiantes de la ESPOCH para la realización de las encuestas, previamente los encuestadores recibieron una capacitación en cuanto a la información requerida, unidades de medida y valoración, relación interpersonal con los encuestados y ubicaciones de los diferentes sectores.

La encuesta fue diseñada para obtener datos de información del establecimiento y datos técnicos para la investigación como: tipo de materia prima, cantidad y destino de desperdicios y residuos, gasto o rédito económico implicado en los residuos y si estará dispuesto a donarlo para fines energéticos e investigativos a la ESPOCH. Posteriormente se tabulan los datos y se realiza el proceso estadístico descriptivo para conocer la cantidad de masa total que se dispone de biomasa residual forestal.

Para la caracterización del gas producido en el gasificador downdraft, a través de cromatografía de gases se determina la composición del gas obtenido y su poder calorífico, para esto se debe realizar varias pruebas de gasificación y seguir un protocolo de muestreo.

El análisis financiero así como la viabilidad de una planta piloto de generación de gas pobre se realiza una vez cuantificada la cantidad de biomasa residual disponible,

ubicación de la biomasa residual disponible, calculada la eficiencia en frío del gasificador downdraft y el poder calorífico del gas producido para poder determinar escenarios como: viabilidad económica de generación a partir de biomasa residual maderera donada y energéticos frente a los cuales puede ser una alternativa útil sector urbano y rural.

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que se ha realizado una recolección de datos y su tratamiento estadístico descriptivo con los datos tabulados a través de las encuestas. El diseño de la misma es no experimental debido a que no se manipularon las variables en algún ambiente establecido sino que se han tomado in situ (a través de las visitas para la recopilación de datos). Transversal ya que se han recopilado los datos de interés en un momento determinado y coordinado con los estudiantes participantes. Descriptivo ya que se indagan la incidencia de los residuos forestales como fuente energético. La muestra tratada es no probabilística dado que el objetivo es identificar la totalidad de establecimientos que trabajan con madera y la recolección de datos se los ha realizado a través de encuestas con un tipo de preguntas cerradas. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010)

2.1. Parámetros para la identificación del potencial energético de biomasa residual de industria maderera en el cantón Riobamba

Dentro del levantamiento de la información en el cantón, lo que se requiere conocer es: Ubicación de los establecimientos que trabajen con madera, cantidad y tipo de materia prima que se utiliza en la industria maderera, cantidad y tipo de residuos forestales que se genera, su utilización final o destino, incidencia económica por la generación de los residuos (gasto o rédito) y si los mismos están disponibles para fines energéticos. Por tanto, se realiza un barrido completo tipo censo a las parroquias urbanas y rurales para identificar la existencia de cualquier establecimiento que trabaje con madera o sus derivados y allí aplicar una encuesta.

La densidad poblacional en el contorno urbano es de 2654 habitantes/km², se divide a la urbe en 24 sectores, con lo cual cada sector tendría 111 habitantes/km². En el plano base de Riobamba se muestra la distribución territorial proporcionada por el municipio de la ciudad y actualizado a noviembre de 2015. Esta división se la realizó con el fin de concentrar un mismo número de manzanas en cada conjunto y también balancear los sectores que son de afluencia comercial, donde existirán mayor número de establecimientos, con aquellos de tipo residencial donde probablemente no exista lugares que trabajen con madera de ninguna clase. El mapa correspondiente a la delimitación de sectores área urbana se encuentra en el Anexo 1. Para el área rural, las

11 parroquias que la conforman pasan a ser un sector propiamente dicho, el promedio de densidad poblacional en el sector rural es de 147 habitantes/km², de la misma manera con un mapa actualizado se detalla la localización y límites de estas, ver Anexo 2. Con este material se tiene definido las extensiones de los 35 sectores y los encuestadores marcarán la localización exacta de la cada uno de los establecimientos.

En la Tabla 2.1, se presentan los valores de densidad poblacional tanto para el sector urbano como para el sector rural del cantón Riobamba.

Tabla 2.1. Densidad poblacional a nivel parroquial en el cantón Riobamba.

Código	Nombre de parroquia	Población [hab]	Superficie de la parroquia [km²]	Densidad Poblacional [hab/km²]
060150	RIOBAMBA	156.723	59,05	2.654,07
060151	CACHA	3.160	26,29	120,20
060152	CALPI	6.469	53,53	120,85
060153	CUBIJIES	2.514	12,54	200,48
060154	FLORES	4.546	37,39	121,58
060155	LICAN	7.963	26,94	295,58
060156	LICTO	7.807	58,42	133,64
060157	PUNGALA	5.954	281,33	21,16
060158	PUNIN	5.976	47,89	124,79
060159	QUIMIAG	5.257	139,51	37,68
060160	SAN JUAN	7.370	210,53	35,01
060161	SAN LUIS	12.002	29,27	410,04

Fuente: (Instituto nacional de Estadísticas y Censos INEC, 2016)

El diseño de la encuesta, véase el Anexo 3, se conforma básicamente por dos partes, la primera una información del propietario y establecimiento, y la segunda que es la parte técnica se indaga:

- ¿Qué tipo de materia prima dispone para su proceso productivo y en qué cantidad?
- ¿Qué clase de desperdicios de industria maderera genera su proceso productivo?
- ¿Qué cantidad de desperdicios de industria maderera genera su proceso productivo?
- ¿Qué destino le da al desperdicio de industria maderera?
- ¿Le implica algún redito y/o gasto económico deshacerse del desperdicio de industria maderera?

- Estaría dispuesto a donar su desperdicios de industria maderera a la ESPOCH con fines investigativos?

En cada pregunta se deberá establecer la cantidad volumétrica de la materia prima y de la biomasa residual que se esté tratando en base a los datos proporcionados por los encuestados. Es importante anotar con claridad las unidades con las que el propietario provee la información. En el caso de la primera pregunta puede ser en tablones, tablas, trozas, planchas o metros cúbicos; los tablones, tablas y planchas tienen medidas promedio definidas, en tanto que para las trozas se debe medir físicamente para poder transformar con exactitud a una unidad común que serían los metros cúbicos.

Las dimensiones de las unidades volumétricas de uso común se encuentran a continuación en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Dimensiones de la materia prima.

PRESENTACION MATERIA PRIMA	Longitud L [m]	Ancho a [m]	Espesor e [m]	Volumen V [m³]
Tablón	2,44	0,203	0,025	0,0252
Tabla	2,44	0,203	0,051	0,0126
Plancha de MDF	2,44	2,135	0,018	0,094
Plancha de laminado	2,44	2,135	0,018	0,094
Plancha de MDP	2,44	2,135	0,018	0,094
Plancha de Aglomerado	2,44	2,135	0,018	0,094
Plancha de Melamínico	2,44	2,135	0,018	0,094
Plancha de Triplex	2,44	1,22	0,015	0,045

Fuente: (http://www.cotopaxi.com.ec/sites/default/files/ficha_duraplac_crudo.pdf)

Para las demás preguntas, las clases de residuos se agrupan en viruta, aserrín, polvo de aserrín, madera trozada o corteza, las unidades de medidas son sacos o metros cúbicos. En un sondeo inicial se conoce que pocos establecimientos contabilizan la cantidad de residuos de industria maderera en metros cúbicos, que sería lo adecuado, especialmente aquellos que trabajan de manera artesanal y son de escalas pequeñas; estos utilizan la estimación a través de sacos. Un saco comercial tiene como dimensiones 0,77x0,49x0,17 m³ (0,064 m³).

Escasos locales comerciales manejan un inventario donde cuentan directamente con la masa de material procesado tanto de materia prima como de residuos. Entonces como la valoración se la hace en volúmenes casi en su totalidad, primero se debe llevar a una unidad de medida común. En cada clase de residuo, la forma geométrica de cada pieza de material determinará espacios de aire internos y por tanto una cantidad mayor de espacio ocupado por el material con referencia a la madera sólida o comúnmente llamada en rollo, véase Figura 2.1. y 2.2.

Además de la forma geométrica de cada pieza de material la aparición de espacios de aire, a los que se hace mención, aumentan o disminuyen según el ordenamiento del material, apilado (stock) o suelto al granel (bulk, loos). Los factores para la conversión del volumen se hallan en la Tabla 2.3 y 2.4.



Figura 2.1. Factores básicos de conversión.
Fuente: (Krajnc, 2015)



Figura 2.2. Clases de residuos forestales.
(Fuente: Propia)

La relación entre la masa de un material y el volumen que este ocupa se conoce como densidad, por el efecto en el volumen antes citado se debe hacer mención a dos definiciones de densidad para los residuos forestales:

Densidad aparente: Es la masa de una parte de un combustible sólido dividido por el volumen del recipiente que se llena bajo condiciones específicas. Se utiliza para pilas de combustible de madera y los residuos de madera como virutas, aserrín, astillas

también leña. En la Tabla 2.5 se enlistan los valores de densidad aparente correspondientes a combustibles de madera.

Densidad básica: Es la relación de la masa sobre una base seca y el volumen sólido sobre una base verde. (Krajnc, 2015)

Tabla 2.3. Factores de conversión para diferentes combustibles de madera.

CLASIFICACION	MADERA EN ROLLO	MADERA DE 1m DE LARGO	LEÑO (25-30cm)		CHIPS DE MADERA	
			APILADA	SUELTA	FINA	MEDIA
	m ³ sólido	m ³ apilado	m ³ apilado	m ³ suelto	m ³ suelto	m ³ suelto
1m ³ de madera en rollo	1	1,4	1,2	2	2,5	3
1m ³ de madera de 1m de largo	0,7	1	0,85	1,4	1,8	2,15
1m ³ de leños apilados (25-30cm)	0,85	1,2	1	1,67	2	2,5
1m ³ de leños sueltos (25-30cm)	0,5	0,7	0,6	1	1,25	1,5
1m ³ de chips de madera tamaño fino	0,4	0,55	0,5	0,8	1	1,2
1m ³ de chips de madera tamaño medio	0,33	0,47	0,4	0,67	0,85	1

Fuente: (Krajnc, 2015)

Tabla 2.4. Factores de conversión de residuos de madera seleccionados.

COMBUSTIBLES DE MADERA	EQUIVALENCIA
1m ³ de leña apilada o en bloques	0,65m ³ de madera sólida o en rollo
1m ³ de Chips de madera sueltos	0,33m ³ de madera sólida o en rollo
1m ³ de Aserrín suelto	0,33m ³ de madera sólida o en rollo
1m ³ de viruta suelta	0,20m ³ de madera sólida o en rollo
1m ³ de corteza suelta	0,30m ³ de madera sólida a o en rollo

Fuente: (Krajnc, 2015)

Tabla 2.5. Valores típicos de densidad aparente para los combustibles de madera seleccionados.

COMBUSTIBLE DE MADERA		DENSIDAD APARENTE [kg/m ³]
Leña surtida	Haya	460
Leña surtida	Abeto de Noruega	310
Astillas de madera	Conífero	195
Astillas de madera	Hojas anchas	260
Corteza	Conífero	205
Corteza	Hojas anchas	320
Polvo		170
Viruta		90
Pellets		600

Fuente: (Krajnc, 2015)

De esta manera, al obtener de la encuesta los datos de volúmenes de la biomasa y contar con su correspondiente densidad teórica de los distintos tipos, se puede calcular la masa disponible, que es el dato a través del cual se podrá identificar la cantidad de energía que se puede disponer.

Los combustibles de madera son de diversos tipos, y se originan debido al proceso al cual se someten, este mismo proceso incide directamente en la humedad, además del proceso de secado de la materia prima de la cual proceden. Otros factores que influyen es el tipo de almacenamiento y transporte. Estudios previos, han identificado los valores de humedad de residuos madereros corrientes para diversas especies, los cuales se presentan en la Tabla 2.6.

Humedad de la madera: La humedad de la madera puede describirse como la relación entre el agua y la materia seca. La humedad de la madera es un término empleado habitualmente en el sector maderero. Sin embargo, para el aprovechamiento energético de la madera los cálculos solo se hacen utilizando el contenido de agua. El contenido de agua puede describirse como la relación entre el agua y la materia total (masa fresca o verde). El contenido de agua es la variable más importante para definir la calidad de las astillas de madera (Krajnc, 2015).

Para un aprovechamiento efectivo de la energía disponible de los combustibles de origen orgánico se debe tomar en cuenta el contenido de agua y el tipo de material.

Tabla 2.6. Humedad y cenizas de residuos madereros corrientes.

RESIDUOS	TAMAÑO [mm]	HUMEDAD [%]	CENIZAS [%]
LIJADURAS	<1	2-10	0,1-0,5
VIRUTAS	1-12	10-20	0,1-1,0
ASERRIN	1-10	25-40	0,5-2,0
CORTEZA DESMENUZADA	1-100	25-75	1,0-2,0
LEÑA*	250-300	20	-

Fuente: (Serret Guasch, Giralt Ortega, & Quintero Ríos, 2016), (Krajnc, 2015)*

Cuando se reconoce el tipo de material aparece una propiedad llamada poder calorífico. El poder calorífico se define como la cantidad de energía por unidad de masa o volumen liberado en la combustión completa. La humedad de la madera cambia el valor calorífico de este último mediante la reducción de la misma. De hecho, parte de la energía liberada durante el proceso de combustión se gasta en la evaporación del agua y no es por consiguiente disponible para cualquier uso térmico deseado. La evaporación del agua implica el consumo de 2,44 MJ por kg de agua. De este modo es posible distinguir entre dos denominaciones, poder calorífico superior y poder calorífico inferior. (Krajnc, 2015)

El poder calorífico inferior de la madera seca de diferentes especies varía dentro de un muy estrecho intervalo, desde 18,5 a 19 MJ/kg. Pero como se indicó anteriormente el contenido de agua es determinante en el valor del poder calorífico, existen tablas elaboradas en donde se presenta los valores del poder calorífico en función de la cantidad de humedad para ciertas especies de madera. Durante el secado, el 10% de disminución en la humedad implica un aproximado de 2,16 MJ/kg (0,6 kWh/kg) de incremento en el contenido de energía (Krajnc, 2015). En el Anexo 4 se presentan los valores del poder calorífico de la madera en función de la cantidad de humedad.

Se podría decir entonces que las variables que alteran el valor de la energía que puede liberar un combustible de madera es la cantidad de agua que contiene el material y el tipo de madera, de las cuales la cantidad de agua es la más influyente; los cálculos que se realizan será tomando en cuenta fundamentalmente esta propiedad del material para poder identificar el poder calorífico. Un cálculo más minucioso contemplara también la especie pero el porcentaje de error no es significativo ya que como explica la bibliografía el rango de variación del poder calorífico de la madera según el tipo es muy corto y los resultados de los volúmenes de biomasa disponibles en los establecimientos en sus diferentes clases se encuentran como una mezcla de varias especies. En el proceso de gasificación la presencia de humedad en la biomasa consume energía para su evaporación y esta agua evaporada al condensarse en las paredes del equipo resulta en alquitranes, mismos que no son deseables por los efectos contaminantes que generan.

2.2. Proceso de encuestado

Establecido los parámetros que se necesitan obtener en la encuesta, es necesario capacitar a todo el personal que receptorá la información en temas como:

- Fines e importancia de la investigación, enfoque de las energías renovables.
- Unidades para cuantificación de volumen y densidad aparente de la biomasa residual de la industria maderera.
- Distribución y designación de sectores urbanos y rurales.

El proceso de encuestado se lleva a cabo bajo la supervisión de docentes de la ESPOCH. Los estudiantes encuestadores deben identificar todos los establecimientos que laboren con madera en el sector que se les haya asignado, contactar con el personal a cargo de dicho lugar, dar a conocer el objetivo de su visita, llenar las encuestas correctamente constatando el material de materia prima como de residuos y ubicar en

un mapa del sector el local encontrado. Todas las actividades se documentan fotográficamente.

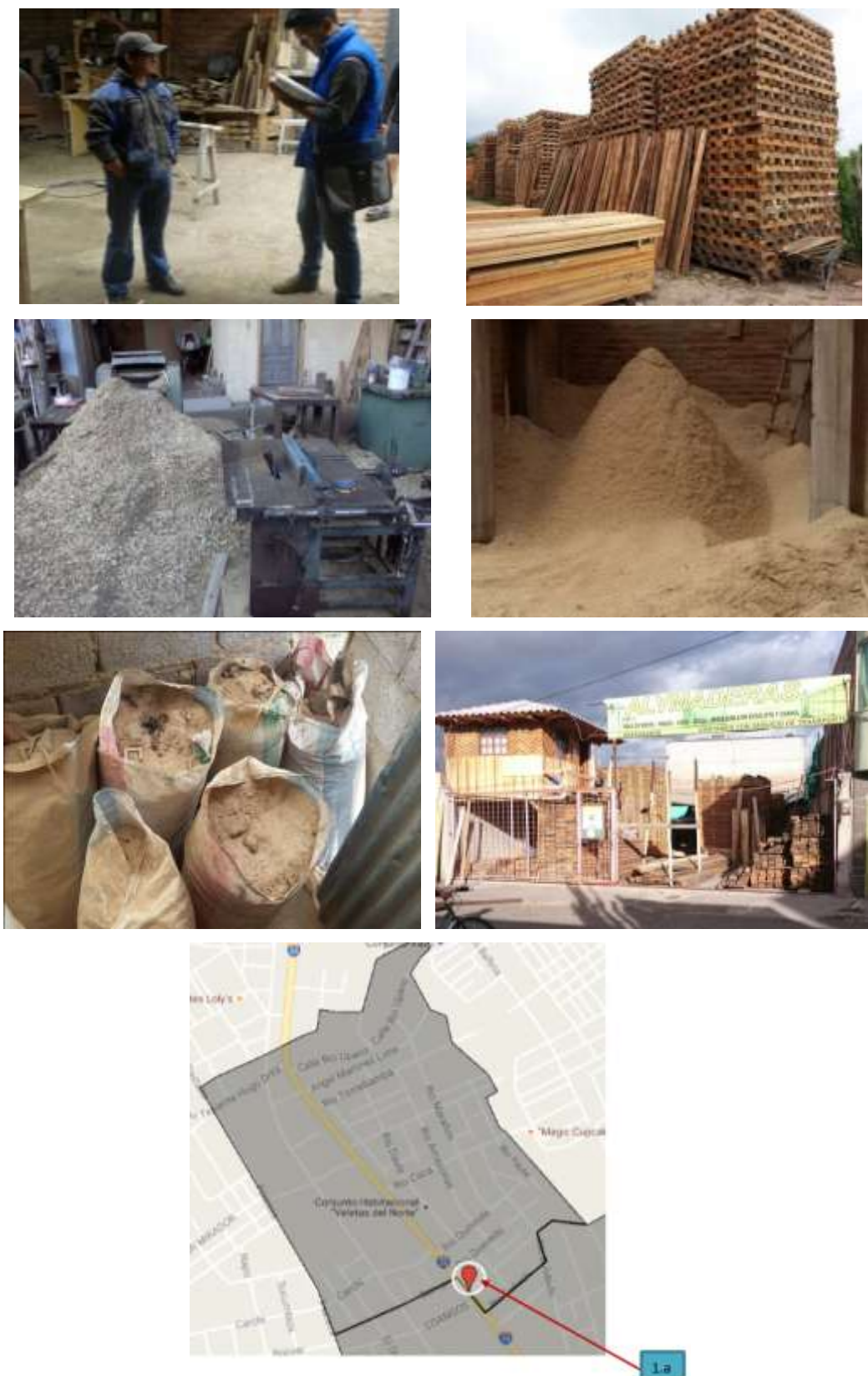


Figura 2.3. Proceso de encuestado parroquias urbanas y rurales.
(Fuente: Propia)

Los datos obtenidos de las encuestas aplicadas se digitalizan, compilan y tabulan en conjuntos por sectores para desarrollar los valores totales teniendo en cuenta el sector urbano y el sector rural, los mismos que se presentan de manera detallada en el capítulo 3 Resultados y Discusión, página 52. El intervalo de tiempo para el proceso completo fue desde el 01 de agosto de 2016 hasta el día 15 del mismo mes y año.

2.3. Descripción del equipo de gasificación existente.

El gasificador que se dispone para la investigación, forma parte del laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, sus datos técnicos se muestran a continuación:

Tabla 2.7. Características técnicas del gasificador Downdraft ESPOCH.

CARACTERISTICAS	DESCRIPCION
Tipo de gasificador	Lecho fijo, downdraft
Combustible	Biomasa con humedades no mayores al 25%
Capacidad de procesamiento	40kg/h
Dimensiones de biomasa	Elementos de hasta 10cm por lado, no recomendado para trabajar con aserrín o viruta directamente por la compactación que se produciría del material en el hogar
Agente gasificante:	Aire
Sistema de tratamiento de gas producido	Ciclón, enfriador y filtro de gas

(Fuente: Propia)

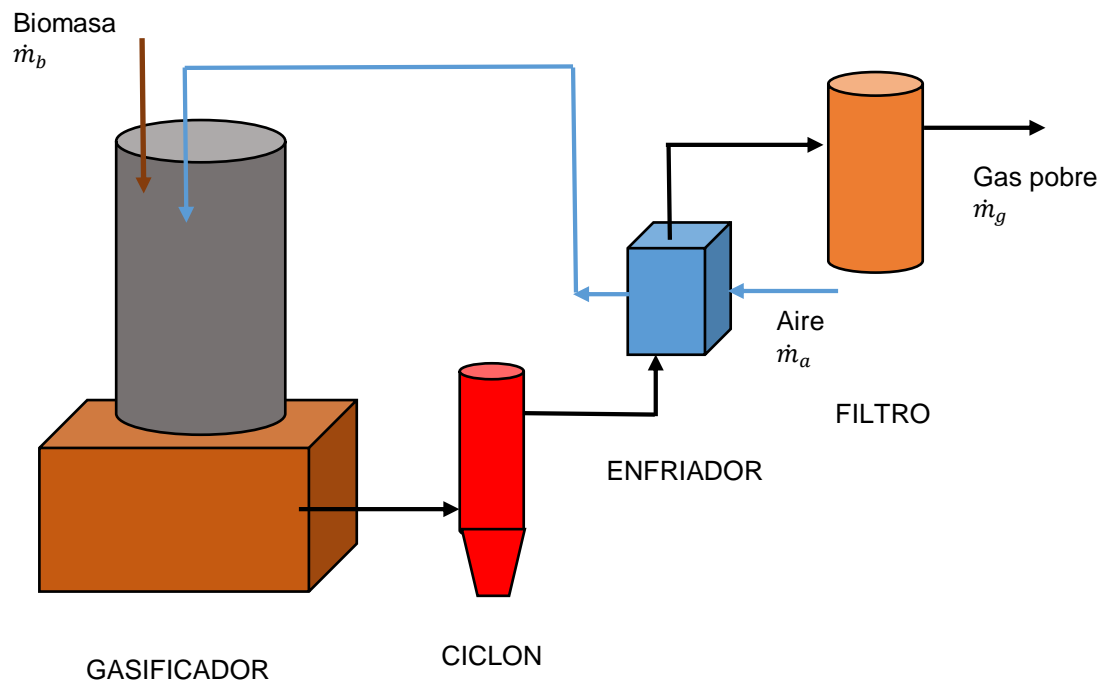


Figura 2.4 Diagrama de bloques del gasificador downdraft ESPOCH
(Fuente: Propia)

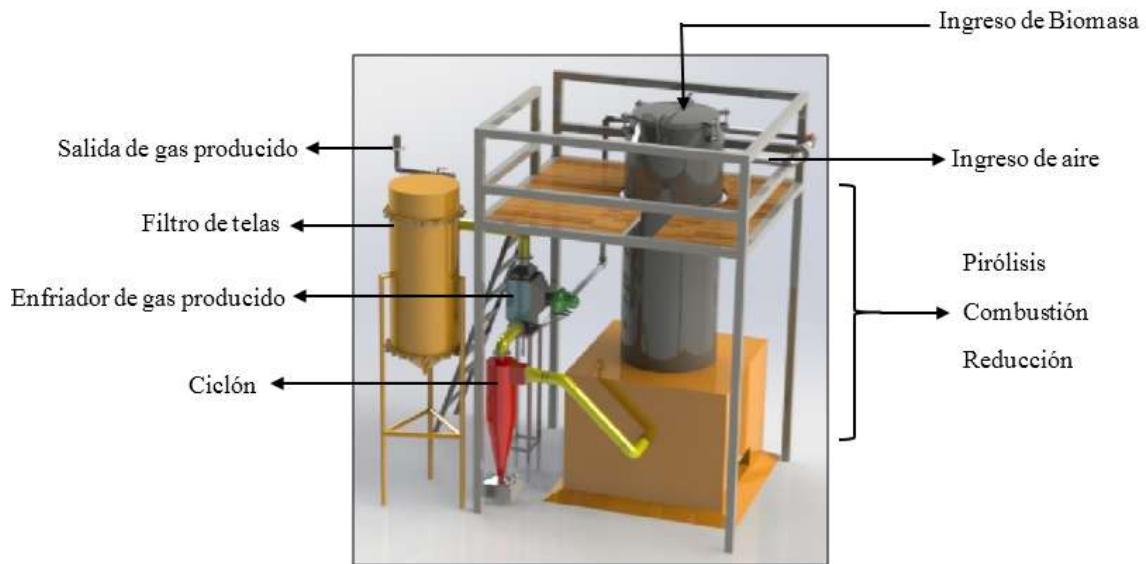


Figura 2.5. Representación gráfica de gasificador Downdraft ESPOCH.
(Fuente: Propia)

Como se puede observar en la Figura 2.4 y 2.5 el ingreso de la biomasa es desde la parte superior y el aire, agente gasificante, se inyecta desde una tubería que recorre axialmente el eje del cuerpo central, la impulsión de aire se la realiza por medio de un ventilador centrífugo y es este mismo elemento es el encargado de dotar la energía necesaria para que la corriente de gas pobre llegue hasta la salida.

Cuerpo principal: Es el lugar donde se producen las reacciones termoquímicas al encontrarse la biomasa con el agente gasificante aire, las principales dimensiones se encuentran a continuación, Figura 2.6.

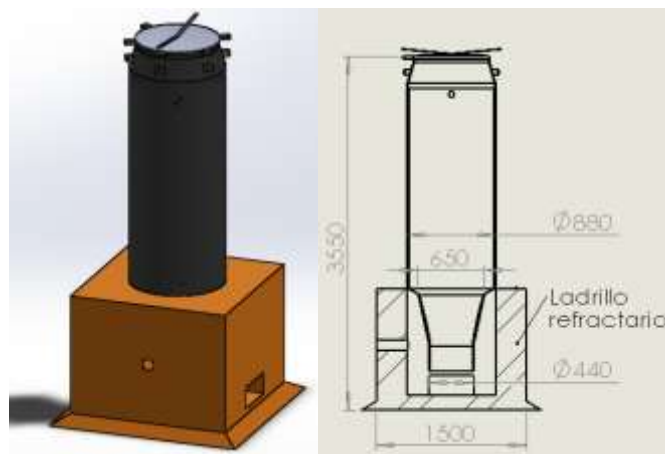


Figura 2.6 Esquema cuerpo principal del gasificador
(Fuente: Propia)

Ciclón: Es el primer elemento de acondicionamiento del gas pues retiene el material particulado de mayor tamaño. Al usar biomasa residual de la industria maderera, las

partículas de combustible pequeñas generalmente provocan mayores concentraciones de polvo en el gas que al utilizar tacos de madera. Para gasificadores normales tipo downdraft, se produce polvo en cantidades que varían entre 0,5 y 5 g/m³ a este parámetro se lo conoce como concentración de partículas en la corriente gaseosa C_{par} . De esta cantidad de polvo generada en el ciclón se separa del 60 al 65% (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 1993). Véase Figura 2.7.

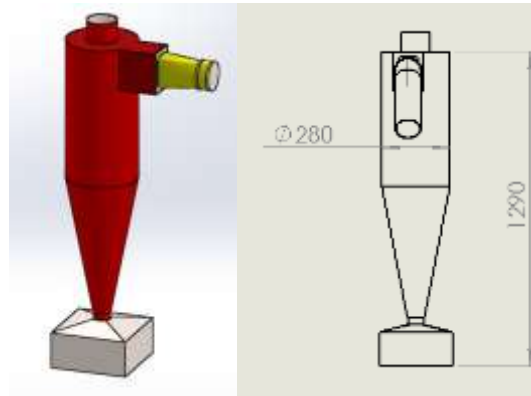


Figura 2.7 Esquema ciclón
(Fuente: Propia)

Enfriador: La necesidad de enfriamiento del gas producto depende del uso que se le otorgue. Cuando se destina a la generación de energía térmica como la quema directa en calderas, no es un condicional la disminución de la temperatura del gas producto y se lo puede usar directamente. En cambio cuando se pretenda destinarlo a la generación de energía eléctrica o motriz como en el caso de un motor de combustión interna, es necesario enfriar el gas pobre producido con la finalidad de aumentar el valor de la densidad con la que estaría ingresando a la cámara de combustión y además de evitar condensaciones al contacto con el aire (Basu, Biomass gasification and pyrolysis: Practical Design, 2010).

El gas pobre producido que ha pasado por el ciclón, se encuentra a una temperatura aproximada de 115-120 °C, se lo pretende enfriar a una temperatura de 70 °C. El calor desprendido por el enfriamiento puede ser aprovechado para calentar el aire que ingresa al gasificador con lo cual se vería mejorado el ciclo completo de gasificación al ahorrar la disipación de energía al medio ambiente. El aire a temperatura ambiente se encuentra a 20 °C y después del intercambio de calor tiene un valor cercano a los 48 °. El enfriador es un intercambiador de flujo cruzado el mismo que se representa gráficamente en la en la Figura 2.8, para más detalles de su diseño refiérase a los planos del Anexo 5.

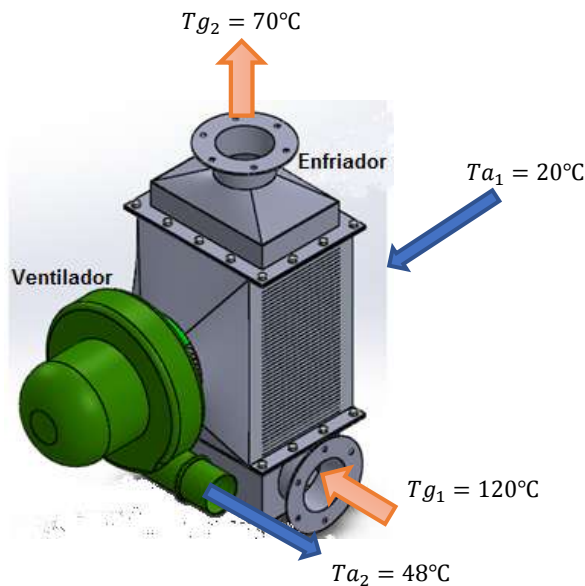


Figura 2.8. Temperaturas de fluidos en el conjunto enfriador de gas y ventilador de aire.
(Fuente: Propia)

Filtro: El sistema de filtrado es por tela de lana de vidrio debido a que puede trabajar a temperaturas cercanas a 260 °C, y la configuración geométrica es en mangas circulares. Funciona por el método de filtración exterior lo que implica la distribución del flujo de gas alrededor de las mangas y el gas limpio se evacua por un compartimento superior. La temperatura de llegada al filtro de los gases en el gasificador expuesto es aproximadamente 70 °C. El filtro obedece a la metodología de diseño planteada por (Echeverri Londoño, 2008). Los detalles del diseño se los puede revisar en los planos que constan en el Anexo 6. Véase la Figura 2.9.

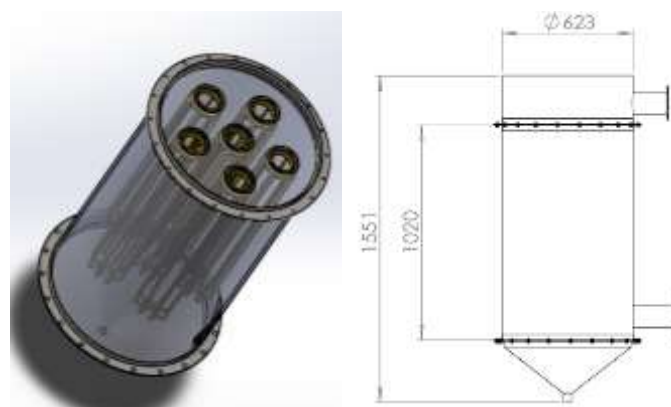


Figura 2.9. Configuración de filtro de mangas.
(Fuente: Propia)

La cantidad de cenizas en el gas producido es de 0,5 g/m³ como se indicó anteriormente, al pasar por el ciclón este retiene el 60% de las mismas, es decir que el valor de la concentración de partículas en la corriente gaseosa al entrar al filtro es $C_{par} = 0,2 \text{ g/m}^3$ que corresponde a partículas de tamaño menor a 75µm, refiérase a la Tabla 2.8. En la

Tabla 2.9 se puede observar los valores tolerables de contaminantes del gas pobre, si se considera una eficiencia de filtrado del 75%, la cantidad de partículas que tendría el gas filtrado sería del 50 mg/m³ lo cual indicaría que está dentro del rango según esta tabla.

Tabla 2.8. Distribución por tamaños del polvo del gas Pobre.

TAMAÑO PARTÍCULAS DE POLVO [μm]	PORCENTAJE EN EL GAS %
Más de 1 000	1,7
1 000 - 250	24,7
250 - 102	23,7
102 - 75	7,1
75 - 60	8,3
Menos de 60	30,3
Pérdidas	4,2

Fuente: (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 1993)

Tabla 2.9. Cantidades tolerables de contaminantes del gas pobre.

AGENTE	CANTIDAD
Polvo	Menos de 50 mg/m ³ de gas. Preferentemente 5 mg/m ³ de gas.
Alquitranes	Menos de 500 mg/m ³ de gas.
Ácidos	Menos de 50 mg/m ³ de gas (medido como ácido acético).

Fuente: (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 1993)

Otro parámetro importante es el tiempo de acumulación de partículas el, el cual tiene un valor de 16 horas y se refiere al tiempo que puede trabajar el equipo antes de necesitar una limpieza, en este tiempo el filtro genera una caída de presión de $\Delta P = 143 \text{ mmH}_2\text{O}$.

Es importante considerar que al interior del filtro no se requiere condensación, ya que esta humedad no solo se adhiere a las paredes del mismo sino también a la tela provocando una filtración inadecuada, por lo que el mismo se encuentra aislado térmicamente por una capa de lana de vidrio de 1 in de espesor.



Figura 2.10. Gasificador downdraft ESPOCH.
(Fuente: Propia)

2.4. Procedimiento experimental

En esta sección se indica la manera como se lleva a cabo la experimentación una vez que se encuentra identificada la biomasa residual de la industria maderera disponible en el cantón Riobamba para trabajar en la gasificación. La misma tiene como finalidad medir los parámetros de funcionamiento reales del gasificador que son caudales máxicos de agente gasificante aire y gas pobre producido en base a la capacidad de procesamiento de combustible del gasificador. Esto con el objetivo de obtener una muestra de gas pobre y caracterizarlo con una cromatografía de gases en laboratorio, obtener índices de funcionamiento, calcular la eficiencia de gasificación y estos parámetros en conjunto compararlos con estudios contemporáneos de similares caracterizas los cuales los cuales colaboren a la corroboración de los datos obtenidos.




2.4.1. Materiales y equipos utilizados




Los materiales necesarios para la experimentación son:

- Biomasa forestal: 40kg/h, en pleno funcionamiento del gasificador
- Carbón: 5kg, para el arranque (opcional)
- Madera trozada o leña: 40kg, para el arranque

Los equipos necesarios para la experimentación son:

Tabla 2.10. Equipos e instrumentos para experimentación.

EQUIPO	CARACTERISTICAS	FIGURA
Balanza digital:	Torrey, modelo: PCR series. Capacidad máxima: 20 kg. Apreciación: 0,001 kg Unidades de medida: kilogramos y libras.	
Detectores de temperatura resistivos RTD	Tipo: PT 100 Material del RTD: platino Apreciación: 0,01 °C Resistencia a sonda a 100 °C: 100 Ω Rango de medición: 0 a +1250 °C.	
Pirómetro infrarrojo con termocupla	Oakton, modelo: Infrapro 5 WD-35629-40 Precisión: 1% de la lectura Apreciación: 0,2 °C, rango de medición: -32 a +760 °C.	

Dos caudalímetros de placas orificio	Construidas a través de la Norma NTE INEN ISO 5167. Detalles dimensionales y forma de cálculo de caudal en Anexo 7.	
Medidor de presión diferencial digital Designación en diagrama P&ID: PI 10 para el gas pobre producido y PI 20 para el aire.	Manometer, modelo: HT 1890 Apreciación: 0,1 cmH_2O Rango de medición: $\pm 140,176 cmH_2O$	
Ventilador centrifugo	Century tolos modelo: VN-40 Diámetro a la descarga: 4in Voltaje de alimentación: 110 V.	

(Fuente: Propia)

2.4.2. Diagrama P&ID del gasificador downdraft

Un diagrama de tuberías e instrumentación, piping and instrumentation diagram P&ID por sus siglas en inglés, sirve para indicar el flujo del proceso a través de las tuberías y equipos y también el instrumental instalado. La norma que indica los parámetros para la elaboración de estos diagramas es al ISA S5.1.

En el gasificador del caso de estudio, se encuentran instalados 8 puntos para la medición de la temperatura, de estos, 4 corresponden a termocuplas tipo K y 4 corresponden a RTD. Además desde la salida del gas pobre del gasificador se encuentran ubicados puntos específicos para el control de la temperatura a través del pirómetro Oakton, en estos puntos no se hallan instaladas de manera permanente instrumentos de medición y son T1, T2, T3, T4, para el gas pobre y T5, T6 y T7 para el aire.

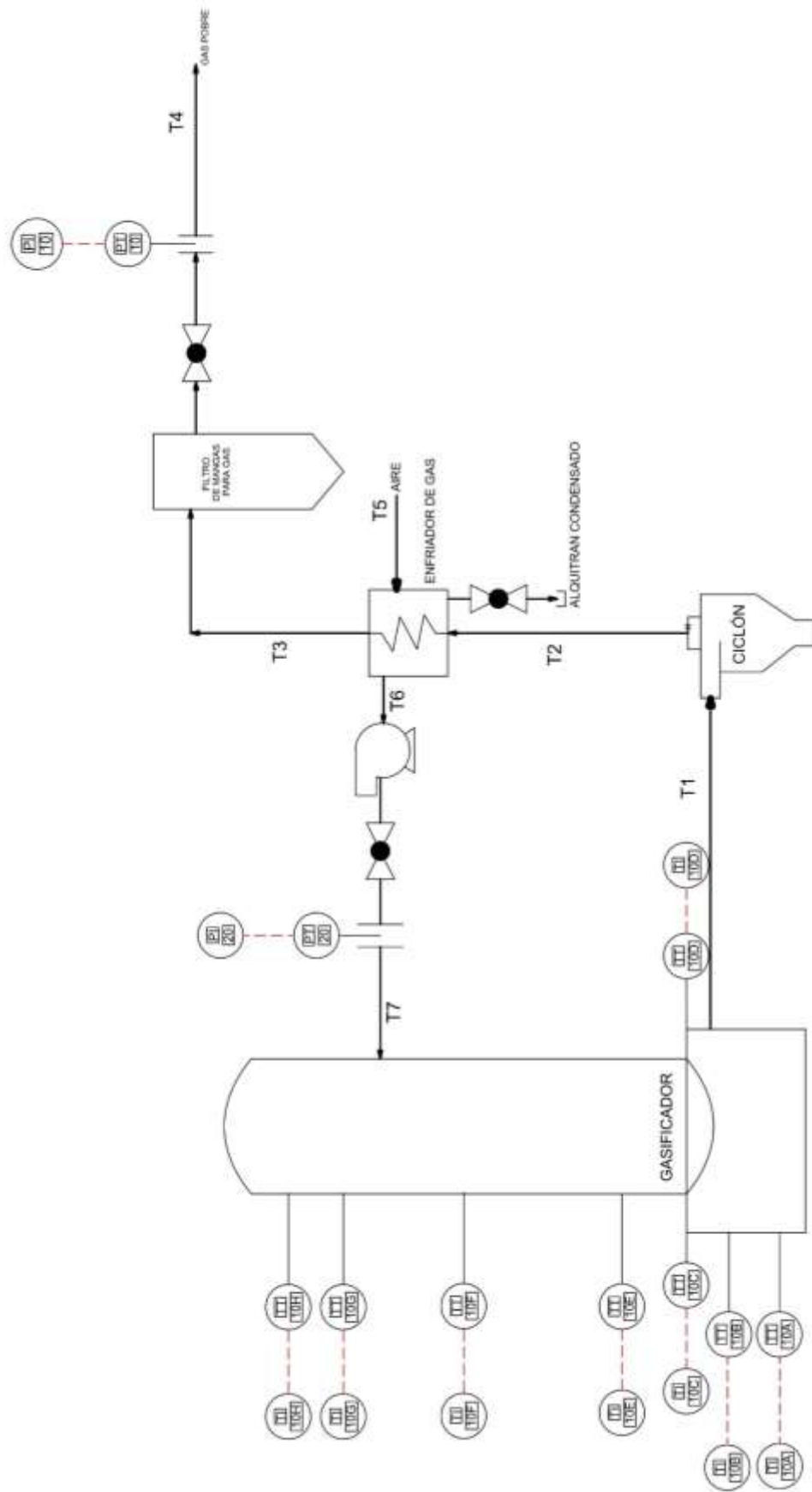


Figura 2.11. Diagrama P&ID del gasificador downdraft.
(Fuente: Propia)

2.4.3. Protocolo de experimentación

Inspeccionar el gasificador compuertas cerradas, tuberías de flujo de aire, suministro de energía al ventilador. Verificación de instrumentos caudalímetros, termocupla y pirómetro.

Registrar el peso de la biomasa residual de la industria de la madera a través de la balanza digital, se preparan porciones de 40 kg cada una para ser suministradas una porción cada hora. Se utilizan para la experimentación residuos donados de madera trozada de eucalipto de dimensiones aproximadas de 4cm x 2cm x 10cm.

Arrancar el gasificador, consiste en el lapso de tiempo que se le da al gasificador para que la mayor parte del equipo adquiera una temperatura de trabajo, en otras palabras, sirve para calentar el conjunto. Este calor se lo obtiene de la combustión completa de la biomasa preferentemente en el hogar durante una hora, que es el intervalo de tiempo recomendado (Basu, Biomass gasification and pyrolysis: Practical Design, 2010).

Para tener una combustión completa se debe agregar la cantidad adecuada de aire, conocida como valor estequiométrico o masa de aire estequiométrico, el mismo que depende de la composición química del combustible (Basu, Biomass gasification and pyrolysis: Practical Design, 2010).

$$m_{at} = 0,1153 \cdot C + 0,3434 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 0,0434 \cdot S \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

m_{at} es la masa de aire estequiométrico en $\frac{kg_{aire}}{kg_{combustible}}$

C, H, O y S es el porcentaje de masa de carbono, hidrogeno, oxígeno y azufre en la correspondientemente en el combustible de uso.

La composición química de biomasa se la puede obtener de un análisis de laboratorio para valores exactos del combustible con el que se está tratando, sin embargo los valores referenciales para varios recursos se enlistan en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11. Composición de algunos tipos de biomosas en base seca.

COMBUSTIBLE	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]	O [%]	CENIZAS [%]	U [%]	PCI [MJ/kg]
Eucalipto	49,01	6,02	0,2	0,12	42,38	2,28	8,45	19,53
Pino	53,43	6,64	0,14	0,05	38,87	0,85	-	19,38
Laurel	52,45	6,36	0,4	-	40,13	0,59	10	19,98

Fuente: (Energy research Centre of the Netherlands, 2012)

Para asegurar la combustión completa del combustible se agrega una cantidad adicional de aire o un exceso de aire que será el valor real de masa de aire con el que se produce la combustión. Este exceso de aire es requerido debido al tipo de combustible, la relación entre la masa real de aire y la masa de combustible se conoce como coeficiente de exceso de aire s y los valores que se recomiendan utilizar para combustibles sólidos, líquidos y gaseosos se encuentran en la Tabla 2.12.

$$s = \frac{m_{ar}}{m_{at}} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde

s es el coeficiente de exceso de aire, adimensional

m_{ar} es la masa de aire real en $\frac{kg_{aire}}{kg_{combustible}}$

Tabla 2.12. Valores del coeficiente de exceso de aire por tipo de combustible.

COMBUSTIBLES	COEFICIENTE DE EXCESO DE AIRE s
Sólidos	1,5-2,0
Líquidos	1,1-1,2
Gaseosos	1-1,1

Fuente: (Márquez Martínez, 2005)

Poner en marcha el gasificador, finalizada la etapa de arranque el equipo debe comenzar su trabajo produciendo gas pobre, las condiciones de operación se debe considerar mantenerlas estables. El aire suministrado como agente gasificante es tan solo una porción de la masa de aire estequiométrico, este porcentaje depende del tipo de gasificador con el cual se esté trabajando. Por lo tanto el requisito de aire para gasificación se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$m_{ag} = m_{at} \times ER \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

m_{ag} es la masa de aire requerido para gasificación en $\frac{kg_{aire}}{kg_{combustible}}$

ER es un parámetro conocido como relación de equivalencia $0,2 < ER < 0,3$, para gasificadores downdraft se recomienda valores de 0,2 a 0,25. (Basu, Biomass gasification and pyrolysis: Practical Design, 2010)

El control del caudal de ingreso de aire tanto para el arranque como para la puesta en marcha del gasificador, se lo realiza por medio de una válvula de bola, como se puede apreciar en el diagrama P&ID, Figura 2.11. Con las ecuaciones 2.2 y 2.3 se obtienen las masas de aire real para el arranque y para la gasificación, para transformar estos datos a flujos volumétricos se debe considerar el valor de la densidad del aire en la condiciones

de trabajo, presión atmosférica en Riobamba y temperatura de aire a la salida del ventilador.

$$\dot{V}_a = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a} = \frac{m_a \times \dot{m}_b}{\frac{P_{atm}}{R_a \times T_a}} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde:

\dot{V}_a es el caudal de ingreso de aire en m³/s

\dot{m}_a es el caudal másico de aire en kg/s

ρ_a es la densidad del aire

m_a es la masa de aire real o de gasificación en kg/kg

$\dot{m}_b = 40 \text{ kg/h}$ es el caudal másico de biomasa para arranque o en gasificación

$P_{atm} = 72875 \text{ Pa}$ es la presión atmosférica en Riobamba

$R_a = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$ es la constante particular del aire, (Cengel & Ghajar, 2011)

$T_a = 20 \text{ °C}$ en el arranque y 48 °C en gasificación es la temperatura a la que sale el aire del ventilador en el arranque y en la gasificación.

De una manera similar se puede identificar el caudal de salida de gas, tomando en cuenta los parámetros de salida del gas.

$$\dot{V}_g = \frac{\dot{m}_g}{\rho_g} = \frac{\dot{m}_g}{\frac{P_{atm}}{R_g \times T_g}} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde:

\dot{V}_g es el caudal de salida de gas m³/s

\dot{m}_g es el flujo másico de gas en kg/s

$R_g = 0,3144 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ es la constante particular del gas, Ver cálculo en Anexo 8.

$T_g = 70 \text{ °C}$ es la temperatura de salida del gas del filtro.

Registrar las temperaturas y valores de presión diferencial para caudales, usando las termocuplas se mide las temperaturas indicadas T3, T5 y T6. El registro de los valores de caudales se los obtiene mediante los instrumentos PI 10 y PI 20, el cálculo de caudales en función de la presión diferencial se encuentra en el Anexo 7

Tomar las muestras de gas pobre, después de haber funcionado el gasificador de manera estable durante un período de una hora se procede al muestreo del gas pobre. La muestra de gas pobre se la realiza en bolsas tedlar con capacidad para 3 litros, las cuales están fabricadas con un material químicamente inerte, polivinil fluoruro (PVF), y son específicas para el muestreo de líquidos o gases. La temperatura del fluido de muestra para estas bolsas puede ser hasta 107°C, el tiempo de almacenamiento que resisten puede ser de 24 a 72 horas dependiendo del fluido. La toma se la debe realizar evitando la mezcla con aire circundante del ambiente y se colecta dos bolsas, pues es la cantidad mínima para el análisis en laboratorio.



Figura 2.12. Bolsa tedlar para muestreo de gas pobre.
(Fuente: Propia)

Transportar e ingresar a análisis de laboratorio, el análisis cromatográfico del gas se lo lleva a cabo en la ciudad de Quito en el Departamento de Ingeniería Química Laboratorio de Análisis Instrumental de la Escuela Politécnica Nacional, el cambio pequeño de presión atmosférica no incurre en riesgo de daños en la bolsa, por lo que el porcentaje de llenado de las mismas será en su totalidad.

2.5. Balance de masa y energía en la gasificación

La última etapa en el proceso de experimentación es el balance másico y energético para abordar el cálculo de la eficiencia. En el balance másico se utilizan los valores que se obtienen en la prueba de gasificación. Para cada flujo másico de biomasa, aire y gas producido se utilizan los instrumentos balanza digital y caudalímetros detallados anteriormente. Para el caso de los condensados que se receptan en el enfriador, su cantidad se la toma por la tubería de purga del enfriador, mientras que el pesaje de las cenizas se lo realiza después que se ha terminado la gasificación y se ha dejado enfriar completamente el equipo al menos 12 horas. La Figura 2.13 representa esquemáticamente los valores de masa de entrada y salida.

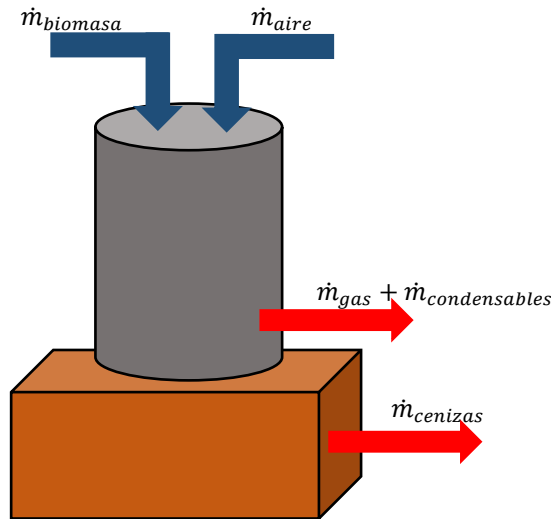


Figura 2.13. Diagrama de balance de masa en el gasificador.
(Fuente: Propia)

$$\dot{m}_{biomasa} + \dot{m}_{aire} = \dot{m}_{gas} + \dot{m}_{condensables} + \dot{m}_{cenizas} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde:

$\dot{m}_{biomasa} = \dot{m}_b = 40 \text{ kg/h}$ es la cantidad de biomasa forestal

$\dot{m}_{aire} = \dot{m}_{ag}$ es el flujo másico de aire para gasificación en kg/h

\dot{m}_{gas} es el flujo másico de gas pobre producido en kg/h

$\dot{m}_{condensables}$ es el flujo másico de condensables producido en kg/h

$\dot{m}_{cenizas}$ es el flujo masico de cenizas producidas en kg/h

El balance de energía se lo realiza en base a los parámetros experimentales, el diagrama que indica el flujo de energía se presenta en la Figura 2.14.

$$\begin{aligned} \dot{m}_{biomasa} PCI_{biomasa} + \dot{m}_{aire} h_{aire} \\ = \dot{m}_{gas} PCI_{gas} + \dot{m}_{gas} h_{gas} \\ + \dot{m}_{cenizas} Cp_{cenizas} (T_{cenizas} - T_{amb}) + \dot{Q}_{perdido} \end{aligned} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Donde:

$PCI_{biomasa} = 15,36 \text{ MJ/kg}$ es el poder calorífico inferior de la biomasa. Madera trozada de Eucalipto. Tabla 3.15, página 78.

$h_{aire} = 0,32029 \text{ MJ/kg}$ es la entalpía del aire, agente gasificante a 80°C y $72,875\text{kPa}$, Anexo 9.

PCI_{gas} es el poder calorífico inferior del gas producido en MJ/kg, se obtiene de los resultados de laboratorio cromatográfico realizados. Tabla 3.22, página 85.

$h_{gas} = 1,5338 \text{ MJ/kg}$ es la entalpia del gas pobre a $200 \text{ }^\circ\text{C}$ $72,875 \text{ kPa}$, en MJ/kg , Ver cálculo en Anexo 8.

$Cp_{cenizas} = 0,00096 \frac{\text{MJ}}{\text{kg K}}$ es el calor específico de las cenizas producidas. (Lesme Jaén, Recio Recio, Preston, Rodriguez, & Oliva Ruiz, 2008)

$T_{cenizas} = 650 \text{ }^\circ\text{C}$ es la temperatura de las cenizas

$T_{amb} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ es la temperatura ambiente

$\dot{Q}_{perdido}$ es la tasa de calor perdido en kW

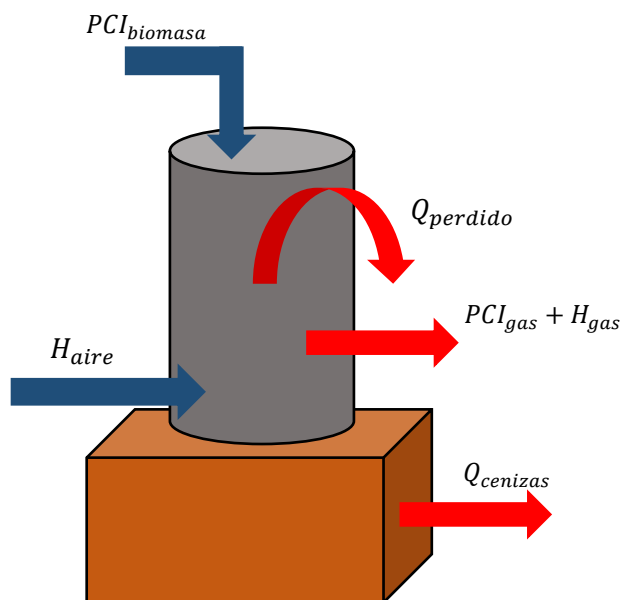


Figura 2.14. Diagrama de balance de energía en el gasificador.
(Fuente: Propia)

Para el cálculo del calor perdido se toma en cuenta que esta porción de energía se obtiene de la transferencia de calor por convección natural desde el cuerpo del gasificador hacia el ambiente.

$$Q_{perdido} = h A_s (T_s - T_{amb}) \quad \text{Ec. 2.8}$$

Donde:

h es el coeficiente convectivo en W/m K

$A_s = 6,082 \text{ m}^2$ es el área de transferencia de calor, cuerpo del gasificador, dimensiones en Anexo 10.

$T_s = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ es la temperatura de la superficie, registrada en la etapa experimental, se utiliza el pirómetro Oakton Infrapro 5.

$$h = \frac{Nu k}{Lc} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde:

Nu es el número de Nusselt, adimensional.

$k = 0,03165 \text{ W/m K}$ es la conductividad térmica del aire a temperatura fílmica $T_f = \frac{T_s + T_{amb}}{2} = 110 \text{ °C}$, Anexo 11.

$Lc = 2,2\text{m}$ es la longitud característica, altura del cuerpo del gasificador. Anexo 10.

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad \text{Ec. 2.10}$$

Donde:

Ra es el número de Rayleigh, adimensional

$Pr = 0,7092$ es el número de Prandtl del aire a temperatura fílmica. Anexo 11.

$$Ra = \frac{g \frac{1}{T_f} (T_s - T_{amb}) Lc^3}{\nu^2} Pr \quad \text{Ec. 2.11}$$

Donde:

$g = 9,79 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ es el valor de la gravedad

$\nu = 2,41 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ es la viscosidad cinemática del aire a temperatura fílmica. Anexo 11.

2.6. Eficiencia del proceso de gasificación

La eficiencia en un proceso de gasificación tiene dos connotaciones, que resultan del empleo que se le otorgue al gas producido, la eficiencia en frío y la eficiencia en caliente. (Basu, Biomass gasification and pyrolysis: Practical Design, 2010). La primera se la conoce también como eficiencia mecánica, y se la utiliza cuando el gas generado va a ser utilizado en motores de combustión, este gas ha sido enfriado. La segunda forma de eficiencia se la utiliza cuando el gas va a ser combustionado directamente después de ser producido, este gas no ha sido enfriado, por tanto como se puede ver en las Ecuaciones 2.13 y 2.14 la diferencia en el cálculo está en considerar o no el valor de la entalpia del gas.

$$\eta_F = \frac{\dot{m}_{gas} PCI_{gas}}{\dot{m}_{biomasa} PCI_{biomasa} + \dot{m}_{aire} h_{aire}} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde:

η_F es la eficiencia en frío del proceso de gasificación en %

$$\eta_c = \frac{\dot{m}_{gas}PCI_{gas} + \dot{m}_{gas}h_{gas}}{\dot{m}_{biomasa}PCI_{biomasa} + \dot{m}_{aire}h_{aire}} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Donde:

η_c es la eficiencia en caliente del proceso de gasificación en %

Los cálculos de estos valores se exponen en el Capítulo 3 Resultados con el título Cálculo de la energía aprovechable de la biomasa residual de la madera, página 76.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se exponen los valores obtenidos a través de la metodología descrita para la obtención de la cantidad, localización y tipo de biomasa forestal residual de la industria maderera disponible para fines energéticos en el cantón Riobamba, así como también la cantidad de energía útil a través de la utilización del gasificador downdraft del caso de estudio, para ello ha sido necesario pruebas experimentales, análisis de composición del gas y balances másico y energético. En la sección de discusión se analiza económicamente la viabilidad del proyecto con la adecuación de una planta piloto en la ESPOCH y la identificación de los usos potenciales del gas combustible generado.

3.1. Resultados

3.1.1. Información de los establecimientos encontrados

Para el estudio se debe primero identificar cada uno de los establecimientos que laboran con madera dentro y fuera del sector urbano. La descripción del nombre del propietario, nombre del establecimiento y dirección se encuentra detalladamente en el Anexo 12.

La cantidad total de establecimientos encontrados en el cantón Riobamba que trabajan con madera es 173, de los cuales 151 proveen información. El problema de los 22 establecimientos detectados que no han participado se debe a la resistencia de los propietarios a detallar información de sus actividades por razones socioeconómicas. Los resultados parciales para el sector urbano y rural se encuentran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Cantidad de establecimientos madereros detectados en el cantón Riobamba, año 2016.

SECTOR	Proveen Información	NO Proveen Información	Total
PERIFERIA URBANA Sector del 1 al 24	135 (78,03%)	21 (12,14%)	156 (90,17%)
PERIFERIA RURAL Sector del 25 al 35	16 (9,25%)	1 (0,58%)	17 (9,83%)
TOTALES	151 (87,28%)	22 (12,72%)	173

Fuente Autor

Aquellos establecimientos que se han negado en proveer información corresponden a diferentes sectores como se puede apreciar en la Figura 3.1. La cantidad de establecimientos representados porcentualmente por cada sector tanto urbano como rural se encuentra en la Figura 3.2.

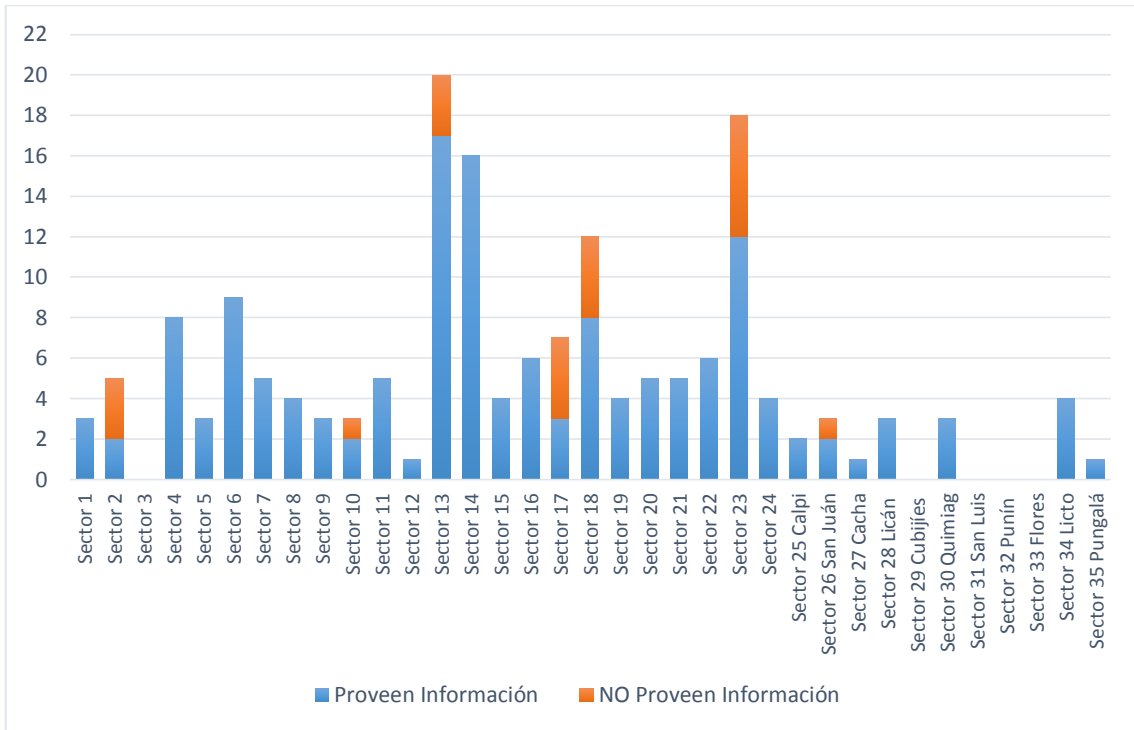


Figura 3.1. Cantidad de establecimientos encontrados que proveen o no información por sector. ((Fuente: Propia))

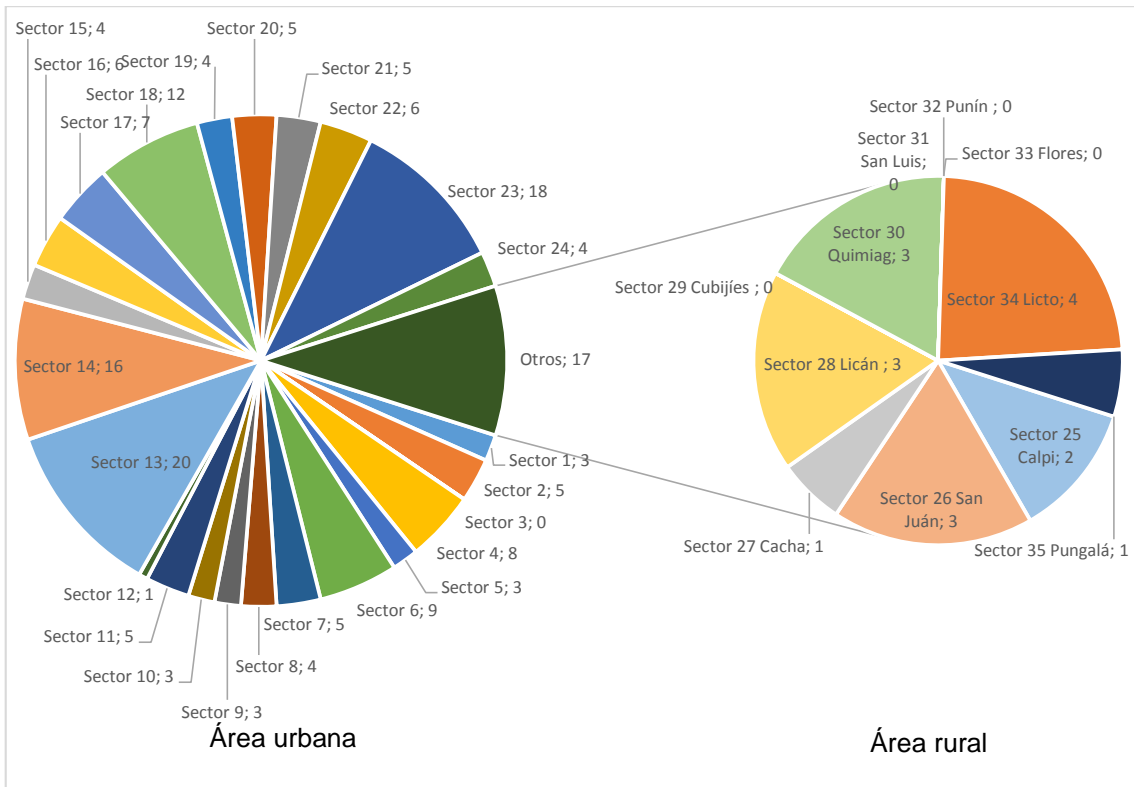


Figura 3.2. Establecimientos encontrados en el área urbana y rural [u]. (Fuente: Propia)

En la Figura 3.1 se puede observar que en un sector cualquiera el número de establecimientos que no proveen información es proporcional al número total de establecimientos en el mismo. La Figura 3.2 muestra que la cantidad de establecimientos que trabajan con madera en el sector rural es pequeña comparada con el sector urbano.

3.1.2. Cantidad y tipo de materia prima que utilizan los establecimientos madereros

Al realizar la encuesta, las cantidades de materia prima se las obtiene en diferentes unidades de volumen tablón, tabla, m³ y planchas. Para el área urbana sectores del 1 al 24 y para el área rural sectores del 25 al 35, se obtiene el siguiente primer resultado, Tabla 3.2 y Tabla 3.3 respectivamente:

Tabla 3.2. Volúmenes de materia prima de los establecimientos madereros en el área urbana.

ESPECIE	SEMANA	UNIDADES	MES	UNIDADES
Aguano	100	Tablón	400	Tablón
Canelo	162	Tablón	648	Tablón
Canelo	50	Tabla	200	Tabla
Caoba	50	Tabla	200	Tabla
Caoba	0,002	m ³	0,008	m ³
Capulí	5	Tabla	20	Tabla
Capulí	0,002	m ³	0,008	m ³
Cedro	34,5	Tablón	138	Tablón
Cedro	43	Tabla	172	Tabla
Seique	422	Tablón	1688	Tablón
Chanul	112,5	Tablón	450	Tablón
Chanul	35,300	m ³	141,2	m ³
Chonta	0,020	m ³	0,08	m ³
Chuncho	146	Tablón	584	Tablón
Chuncho	2	m ³	8	m ³
Ciprés	7	m ³	28	m ³
Copal	15	Tablón	60	Tablón
Eucalipto	1867,5	Tablón	7470	Tablón
Eucalipto	2279	Tabla	9116	Tabla
Eucalipto	307,750	m ³	1231	m ³
Guayacán	3	Tablón	12	Tablón
Laurel	3213,8	Tablón	12855	Tablón
Laurel	136,5	Tabla	546	Tabla
Laurel	12,500	m ³	50	m ³
Marfil	50	Tablón	200	Tablón
Mascarey	175,5	Tablón	702	Tablón
Mascarey	0,020	m ³	0,08	m ³
Nogal	0,002	m ³	0,008	m ³

Pigue	494,8	Tablón	1979	Tablón
Pigue	32,5	Tabla	130	Tabla
Pino	1032,9	Tablón	4131,6	Tablón
Pino	20	Tabla	80	Tabla
Pino	274,000	m³	1096	m³
Sapeli	4	Tablón	16	Tablón
Teca	150	Tablón	600	Tablón
Madera en general	488	Tablón	1952	Tablón
Madera en general	162,5	Tabla	650	Tabla
Tabla de monte	550	Tabla	2200	Tabla
Aglomerado	101,4	Plancha	405,5	Plancha
Laminado	200	Plancha	800	Plancha
MDF	427	Plancha	1708	Plancha
MDF	175,680	m³	702,72	m³
MDP	94	Plancha	376	Plancha
Melamínico	11	Plancha	44	Plancha
Melamínico	0,030	m³	0,12	m³
Triplex	20,000	m³	40,4	m³
Triplex	531	Plancha	2124	Plancha

(Fuente: Propia)

Tabla 3.3. Volúmenes de materia prima de los establecimientos madereros en el área rural.

ESPECIE	SEMANA	UNIDADES	MES	UNIDADES
Chanul	1	Tablón	4	Tablón
Ciprés	0,5	Tablón	2	Tablón
Copal	38	Tablón	152	Tablón
Eucalipto	54,75	Tablón	219	Tablón
Eucalipto	102,5	Tabla	410	Tabla
Laurel	13,5	Tablón	54	Tablón
Pino	59	Tablón	236	Tablón
MDF	4,5	Plancha	18	Plancha

(Fuente: Propia)

Es evidente la necesidad de homogenización de unidades de volumen de las tablas anteriormente expuestas, se utiliza la Tabla 2.2 página 30 como referencia para expresar todos los datos en metros cúbicos. El objetivo es llegar a determinar la masa de esta materia prima, para lo cual también es necesario conocer la densidad de las distintas especies forestales en el Ecuador como se expone en una de las columnas de la Tabla 3.4 y 3.5 (Ministerio del ambiente del Ecuador MAE, 2014). La densidad es una propiedad física de la madera que para este estudio se considera seca al aire con una

humedad de equilibrio de la madera valor medio anual 14,1% para Riobamba. (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2015).

Se obtienen los resultados de las cantidades estimadas de materia prima en unidades de masa toneladas (t), en un intervalo de tiempo de una semana ya que de esta manera fue como se encuestaron a los establecimientos madereros; los posteriores resultados también estarán en función de este mismo intervalo.

Tabla 3.4. Cantidad de materia prima total de los establecimientos madereros en el área urbana.

ESPECIE	CANTIDAD m ³ /semana	DENSIDAD ρ [kg/m ³]	MASA m [kg]	MASA m [t]
Eucalipto	383,526	720	276139,0	276,14
Pino	300,281	490	147137,7	147,14
Laurel	95,206	850	80925,4	80,93
Chanul	38,135	840	32033,4	32,03
Madera en general	14,345	720	10328,5	10,33
Pigue	12,877	650	8370,2	8,37
Seique	10,634	520	5529,9	5,53
Ciprés	7,000	530	3710,0	3,71
Tabla de monte	6,930	500	3465,0	3,47
Chuncho	5,679	550	3123,6	3,12
Canelo	4,712	480	2262,0	2,26
Mascarey	4,443	770	3420,8	3,42
Teca	3,780	610	2305,8	2,31
Aguano	2,520	810	2041,2	2,04
Cedro	1,411	520	733,8	0,73
Marfil	1,260	500	630,0	0,63
Caoba	0,632	560	353,9	0,35
Copal	0,378	700	264,6	0,26
Sapeli	0,101	500	50,4	0,05
Guayacán	0,076	880	66,5	0,07
Capulí	0,065	850	55,3	0,06
Chonta	0,020	500	10,0	0,01
Nogal	0,002	640	1,3	0,00
TOTAL MADERA	894,014		582958,2	582,96

MDF	215,818	650	140281,7	140,28
Triplex	43,895	575	25239,6	25,24
Laminado	18,800	650	12220,0	12,22
Aglomerado	9,529	650	6194,0	6,19
MDP	8,836	659	5822,9	5,82
Melamínico	1,064	650	691,6	0,69
TOTAL PANELES	297,942		190449,9	190,45
TOTAL MADERA+TOTAL PANELES			773408,1	773,41

(Fuente: Propia)

Tabla 3.5. Cantidad de materia prima total de los establecimientos madereros en el área rural.

ESPECIE	CANTIDAD m ³ /semana	DENSIDAD ρ [kg/m ³]	MASA m [kg]	MASA m [t]
Eucalipto	2,671	720	1923,3	1,92
Pino	1,487	490	728,5	0,73
Copal	0,958	700	670,3	0,67
Laurel	0,340	850	289,2	0,29
Chanul	0,025	530	13,4	0,01
Ciprés	0,013	840	10,6	0,01
TOTAL MADERA	5,494	688,33	3635,2	3,64

MDF	0,423	650	274,95	0,27
TOTAL PANELES	0,423		274,95	0,27
TOTAL MADERA+TOTAL PANELES			3910,2	3,91

(Fuente: Propia)

Tabla 3.6. Cantidad de materia prima total de los establecimientos madereros en el catón Riobamba.

ESPECIE	CANTIDAD m ³ /semana	DENSIDAD ρ [kg/m ³]	MASA m [kg]	MASA m [t]
Eucalipto	386,198	720	278112,3	278,11
Pino	301,768	490	147915,3	147,92
Laurel	95,547	850	81214,6	81,21
Chanul	38,160	840	32054,6	32,05
Madera en general	14,345	720	10328,5	10,33
Pigue	12,877	650	8370,2	8,37
Seique	10,634	520	5529,9	5,53
Ciprés	7,013	530	3716,7	3,72
Tabla de monte	6,930	500	3465,0	3,47
Chuncho	5,679	550	3123,6	3,12
Canelo	4,712	480	2262,0	2,26
Mascarey	4,443	770	3420,8	3,42
Teca	3,780	610	2305,8	2,31
Aguano	2,520	810	2041,2	2,04
Cedro	1,411	520	733,8	0,73
Copal	1,336	500	667,8	0,67
Marfil	1,260	560	705,6	0,71
Caoba	0,632	700	442,4	0,44
Sapeli	0,101	500	50,4	0,05
Guayacán	0,076	880	66,5	0,07
Capulí	0,065	850	55,3	0,06
Chonta	0,020	500	10,0	0,01
Nogal	0,002	640	1,3	0,00
TOTAL MADERA	899,508	638,7	586593,3	586,59

MDF	216,241	650	140556,7	140,56
-----	---------	-----	----------	--------

Triplex	43,895	575	25239,6	25,24
Laminado	18,800	650	12220,0	12,22
Aglomerado	9,529	650	6194,0	6,19
MDP	8,836	659	5822,9	5,82
Melamínico	1,064	650	691,6	0,69
TOTAL PANELES	298,365	639	190724,8	190,72
TOTAL MADERA+TOTAL PANELES			777318,1	777,32

(Fuente: Propia)

En la Figura 3.3 y 3.4 se puede apreciar gráficamente la totalidad de materia prima procesada en el cantón. Tanto para el sector urbano como para el sector rural, las unidades se encuentran expresadas en toneladas y metros cúbicos correspondientemente a cada figura en un intervalo de tiempo de una semana.

Como se puede observar en las mencionas imágenes, la madera de eucalipto y pino son las más comercializadas tanto en el sector urbano como en el sector rural, superando fácilmente el 50% de toda la materia prima utilizada. En el caso de los paneles de madera, el MDF es el más comúnmente utilizado. Ahora si se observa la cantidad de materia prima procesada en el sector rural y se la compara con aquella del sector urbano, esta se relega a un valor muy pequeño, 3,91 t frente a 773,41 t.

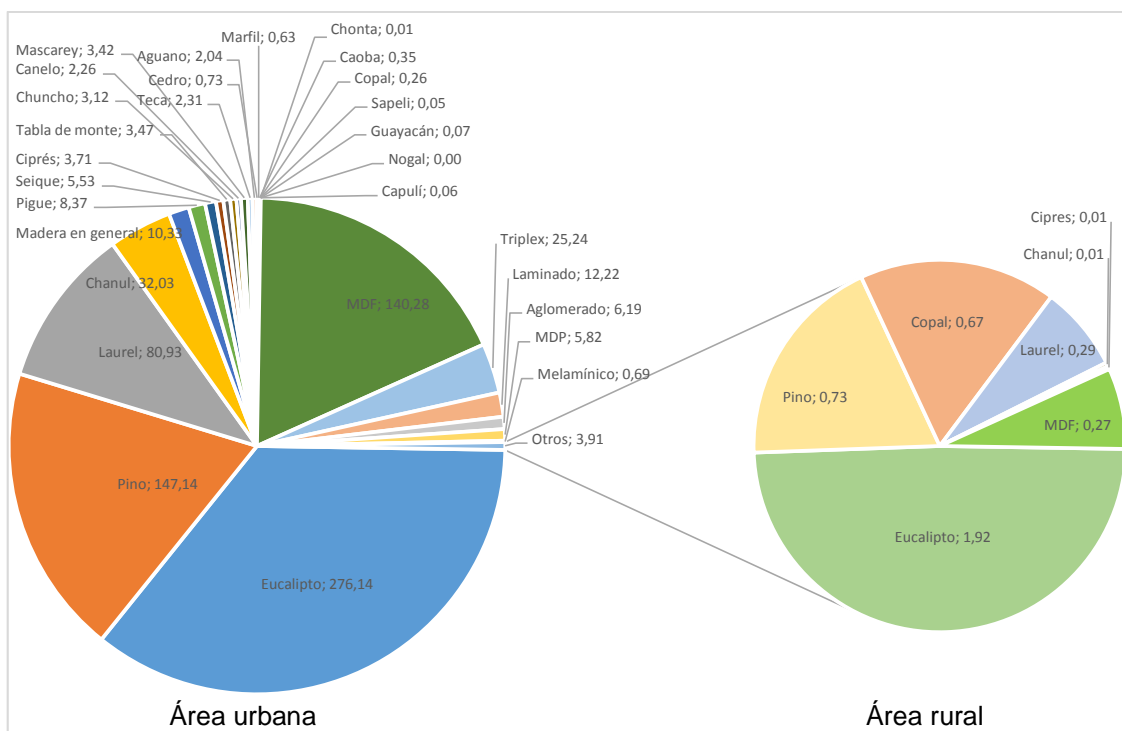


Figura 3.3. Cantidad de materia prima de la industria maderera procesada por especies en el cantón Riobamba área urbana y rural [t/semana].

(Fuente: Propia)

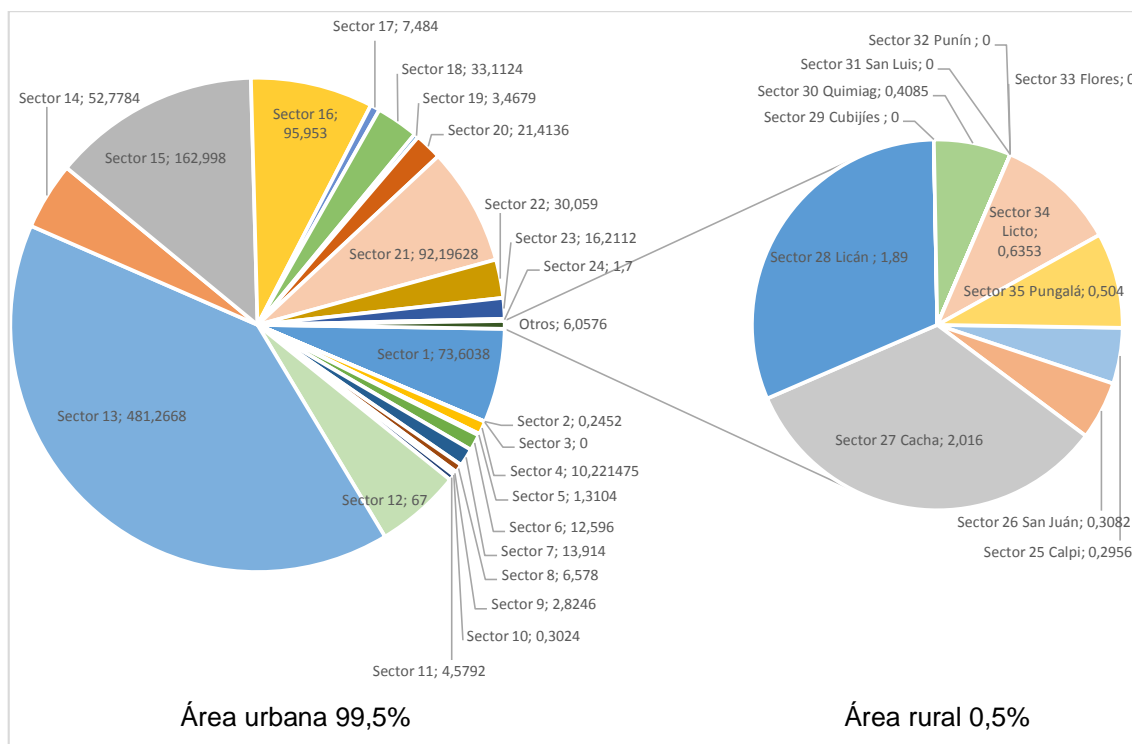


Figura 3.4. Cantidad de materia prima de la industria maderera procesada por sectores en el cantón Riobamba área urbana y rural [m³/semana].
(Fuente: Propia)

3.1.3. Cantidad y tipo de residuos forestales de la industria maderera

Una vez que se han identificado las especies que intervienen en la industria maderera del cantón Riobamba y las cantidades volumétricas y másicas que representan cada una de ellas se procede al siguiente paso en función de la encuesta realizada, el cual es identificar la cantidad y tipo de residuos generados por esta actividad. Las personas encuestadas reconocen 6 tipos de residuos, véase la Figura 2.2 página 31, aserrín, viruta, madera trozada, leña, corteza y polvo de viruta; e identifican el volumen de los residuos en dos tipos de unidades de medida, en sacos comerciales y metros cúbicos, como se indicó en la metodología un saco comercial equivale a 0,064m³; con este valor se homogeniza todas las cantidades adquiridas de los diferentes sectores en un intervalo de tiempo de una semana. Ver Tabla 3.7 y Figura 3.5.

Los metros cúbicos apuntados para cada residuo forestal de industria maderera se corresponden a un valor de densidad aparente individual debido a sus características, como se pudo explicar en el Capítulo 2. Se debe entonces transformar estos valores de volúmenes de residuo forestal a metros cúbicos de madera rolliza a través de los factores de conversión que se muestran en la Figura 2.1 Página 31 y en las Tablas 2.3 y 2.4 página 32. Aquellos factores que son necesarios para esta investigación, se resumen en la Tabla 3.8.

Tabla 3.7. Volúmenes de residuos forestales de industria maderera generados en el cantón Riobamba por sectores.

m ³ /semana	TIPO DE RESIDUO					
	SECTOR	Aserrín	Viruta	Madera Trozada	Leña	Corteza	Polvo
Sector 21	45,904	5,016	3	0,0077	22,512	0
Sector 13	5,216	52,216	0,128	0	0,304	0
Sector 14	3,444	25,892	12,88	0	0	0
Sector 16	14,524	10,024	0	5,14	0	0
Sector 17	6,656	14,72	0	0	0	0
Sector 1	1,024	3,84	5	5	0	0
Sector 6	4,032	1,216	1,92	0	0	0
Sector 22	2,528	1,632	2,338	0	0	0
Sector 23	2,992	0,416	2,048	0,576	0	0
Sector 8	3,008	2,24	0	0	0	0
Sector 18	2,794	0,16	2,058	0	0	0
Sector 5	0,448	3,576	0	0	0	0
Sector 15	1,728	0,384	1,568	0	0	0
Sector 20	1,472	0,768	1,28	0	0	0
Sector 7	2,816	0	0,384	0	0	0
Sector 9	1,536	0,64	0,64	0	0	0
Sector 4	1,472	0,704	0	0,576	0	0
Sector 28 Licán	0,96	0	0	0,64	0	0
Sector 19	0,832	0,528	0	0,096	0	0
Sector 12	0,576	0	0,768	0	0	0
Sector 27 Cacha	0	0,64	0	0	0	0
Sector 11	0,496	0	0	0	0	0,096
Sector 24	0,384	0,192	0	0	0	0
Sector 34 Licto	0,16	0,144	0	0	0	0
Sector 25 Calpi	0,096	0,08	0	0	0	0
Sector 30 Quimiag	0,096	0	0,064	0	0	0
Sector 2	0,144	0	0	0	0	0
Sector 35 Pungalá	0,064	0,064	0	0	0	0
Sector 10	0,08	0	0	0	0	0
Sector 26 S. Juan	0,032	0	0	0	0	0
Sector 3	0	0	0	0	0	0
Sector 29 Cubijes	0	0	0	0	0	0
Sector 31 S. Luis	0	0	0	0	0	0
Sector 32 Punín	0	0	0	0	0	0
Sector 33 Flores	0	0	0	0	0	0
TOTAL	105,51	125,09	34,08	12,04	22,82	0,1
TOTAL						299,63

(Fuente: Propia)

Tabla 3.8. Resumen factores de conversión para residuos forestales de industria maderera.

RESIDUO FORESTAL	FACTOR	UNIDAD m ³ de Madera rolliza	CARACTERISTICA
Viruta	0,2	m ³	Suelta
Aserrín	0,33	m ³	Suelto
Corteza	0,3	m ³	Suelta
Madera trozada	0,5	m ³	Suelta
Leña	0,85	m ³	Leños apilados (25-30cm)
Polvo de viruta	0,33	m ³	Suelto

(Fuente: Propia)

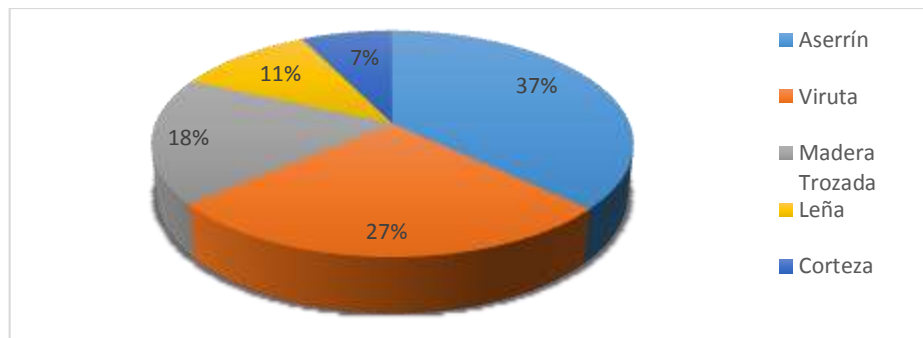


Figura 3.5. Porcentajes de residuos forestales producidos por la actividad maderera en el cantón Riobamba en función del volumen.

(Fuente: Propia)

Como se puede observar en la Figura 3.5 los desperdicios que más se generan de la actividad maderera son el aserrín, la viruta y la madera trozada. En conjunto representa más de 80% de todos los desperdicios generados.

Una vez obtenidos los valores de volúmenes de residuos forestales de industria maderera generados como metros cúbicos de madera rolliza se puede obtener el valor de la masa que representan a través de la densidad real. Evidentemente los residuos han sido generados por el procesamiento de una diversidad de materia prima en los establecimientos, para determinar la densidad aproximada de estos se calcula la densidad media ponderada de las especies forestales que se procesan en el cantón Riobamba con la Ecuación 3.1. Los resultados de la masa de residuos forestales de industria maderera por sector se detallan en la Tabla. 3.9.

$$\bar{\rho} = \frac{\sum \rho_i \times x_i}{\sum x_i} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Donde:

$\bar{\rho}$ es la densidad media ponderada de las especies forestales en $\frac{kg}{m^3}$

ρ_i es la densidad de la especie forestal i en $\frac{kg}{m^3}$

x_i es el valor porcentual de la especie forestal i en %

$$\bar{\rho} = 652,07 \frac{kg}{m^3}$$

Tabla 3.9. Masa de residuos forestales de industria maderera generados en el cantón Riobamba.

t/semana	TIPO DE RESIDUO						
SECTOR	Aserrín	Viruta	Madera Trozada	Leña	Corteza	Polvo de Viruta	Total
Sector 21	9,878	0,654	0,978	0,004	4,404	0,000	15,898
Sector 13	1,122	6,810	0,042	0,000	0,059	0,000	8,023
Sector 14	0,741	3,377	4,199	0,000	0,000	0,000	8,307
Sector 16	3,125	1,307	0,000	2,849	0,000	0,000	7,271
Sector 1	1,432	1,920	0,000	0,000	0,000	0,000	3,347
Sector 17	0,220	0,501	1,630	2,771	0,000	0,000	5,118
Sector 23	0,868	0,159	0,626	0,000	0,000	0,000	1,647
Sector 6	0,544	0,213	0,762	0,000	0,000	0,000	1,515
Sector 22	0,644	0,054	0,668	0,319	0,000	0,000	1,685
Sector 8	0,647	0,292	0,000	0,000	0,000	0,000	0,939
Sector 18	0,601	0,021	0,671	0,000	0,000	0,000	1,293
Sector 4	0,096	0,466	0,000	0,000	0,000	0,000	0,563
Sector 5	0,372	0,050	0,511	0,000	0,000	0,000	0,933
Sector 15	0,317	0,100	0,417	0,000	0,000	0,000	0,834
Sector 20	0,606	0,000	0,125	0,000	0,000	0,000	0,731
Sector 9	0,331	0,083	0,209	0,000	0,000	0,000	0,623
Sector 7	0,317	0,092	0,000	0,319	0,000	0,000	0,728
Sector 28 Licán	0,207	0,000	0,000	0,355	0,000	0,000	0,561
Sector 19	0,179	0,069	0,000	0,053	0,000	0,000	0,301
Sector 12	0,124	0,000	0,250	0,000	0,000	0,000	0,374
Sector 11	0,000	0,083	0,000	0,000	0,000	0,000	0,083
Sector 24	0,107	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,127
Sector 27 Cacha	0,083	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,108
Sector 34 Licto	0,034	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,053
Sector 25 Calpi	0,021	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,031
Sector 30 Quimiag	0,021	0,000	0,021	0,000	0,000	0,000	0,042
Sector 2	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,031
Sector 35 Pungalá	0,014	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022
Sector 10	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017
Sector 26 S. Juan	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007
Sector 3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sector 29 Cubijfes	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sector 31 S. Luis	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sector 32 Punín	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sector 33 Flores	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	22,705	16,31	11,110	6,671	4,463	0,021	61,214

(Fuente: Propia)

En la Tabla 1.2 página 12, se indicó el porcentaje de generación de residuos por el procesamiento de la madera considerando la totalidad del árbol. En el caso de estudio del cantón Riobamba la relación de generación de residuos forestales en función de la materia prima proveniente de las especies es del 7,8%, como se puede apreciar en la Figura 3.6.

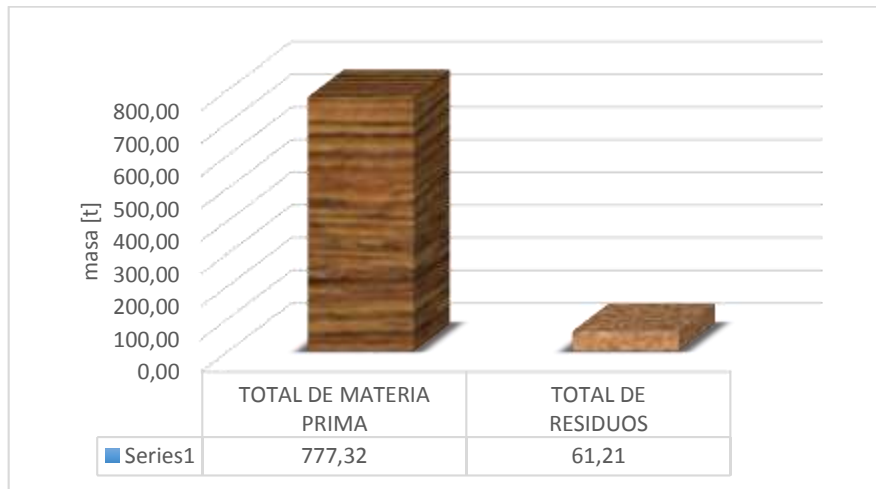
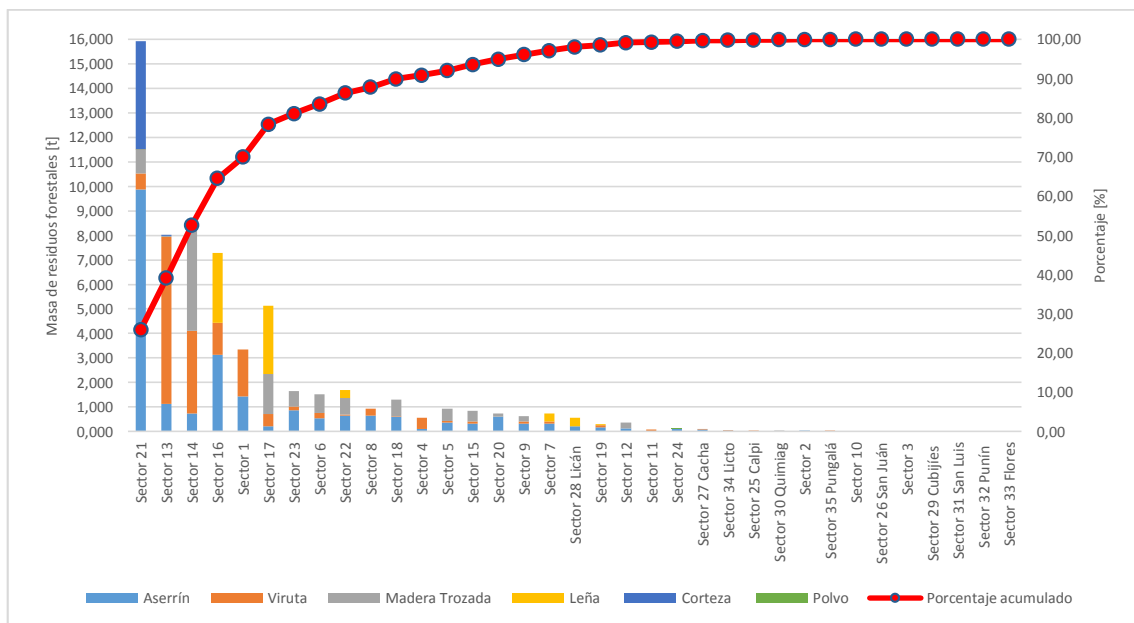


Figura 3.6. Materia prima vs residuos forestales de industria maderera generados.
(Fuente: Propia)

La Figura 3.7 representa gráficamente la participación de los 35 sectores en la generación de residuos forestales. En el diagrama de Pareto se observa que los sectores de mayor incidencia son: 21, 13, 14, 16, 1, 17 y 23; estos siete sectores en conjunto representan el 81,05% de residuos forestales en el cantón. La participación del sector rural es muy pequeña, en conjunto las 11 parroquias rurales representan el 1,3% de los residuos.



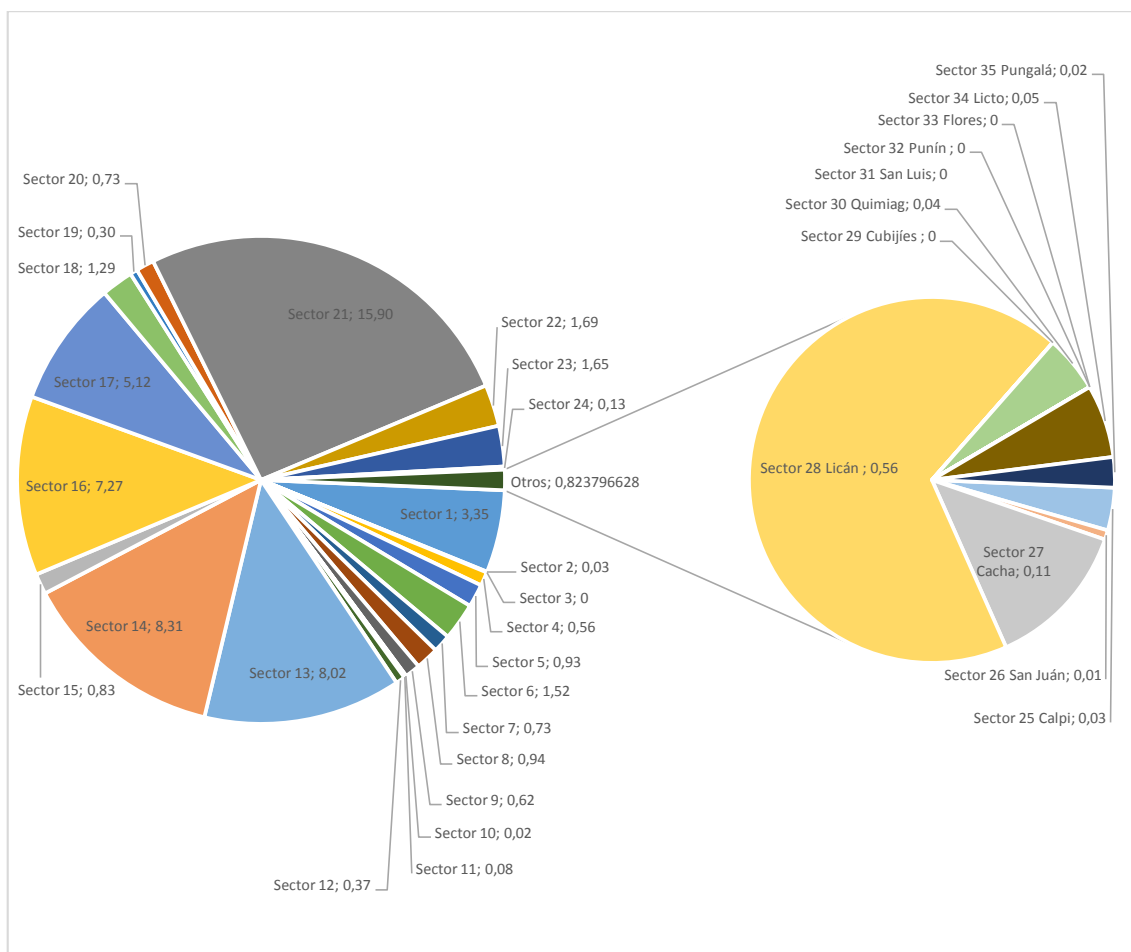


Figura 3.7. Masa de residuos forestales de industria maderera generados en el cantón Riobamba por sectores [t/semana].
(Fuente: Propia)

3.1.4. Destino final de los residuos forestales de industria maderera

Los residuos forestales de industria maderera generados en el cantón Riobamba tienen pocas aplicaciones. Aquellas detectadas a través de las encuestas son: venta, desecho, quema, regala, abono, usos varios y uso como combustible. La quema se la realiza como una forma alterna de desecharlos, lo que provoca contaminación. Cuando los propietarios regalan los residuos estos se destinan principalmente para adecuaciones de animales. Los usos varios en orden prioritario consisten en la fabricación de ladrillos, relleno de terrenos y adecuación de animales adicionalmente. En tanto que el uso como combustible es en muchos de los casos para la cocción de alimentos. La Tabla 3.10 indica las cantidades de los residuos forestales para cada uno de estos usos.

Tabla 3.10. Destino final de los residuos forestales de industria maderera en el cantón Riobamba.

DESTINO	Vende	Desecha	Quema	Regala	Abono	Usos Varios	Uso Combustión	Total
Porcentaje [%]	29,0	18,9	12,9	14,0	7,7	10,1	7,3	100,0
Masa [t]	17,7	11,6	7,9	8,6	4,7	6,2	4,5	61,214

(Fuente: Propia)

En la Figura 3.8 se puede notar que en el cantón Riobamba los establecimientos tratan de vender sus residuos generados representando el 29%, pero el segundo uso que representa el 19% es el desecho y algo similar es la quema con el 13%. Aquí ya se puede notar que existe posibilidad de disponibilidad de recurso biomásicos sin que afecten a los establecimientos.

El conjunto de diagramas de pastel que conforman la Figura 3.9 representan los usos que se les otorga a cada uno de los residuos particularizadamente. En casi todos los casos sucede lo mismo, los dos usos más importantes son la venta y el desecho a excepción de la madera trozada donde su principal utilización es la quema y también el uso como combustible.

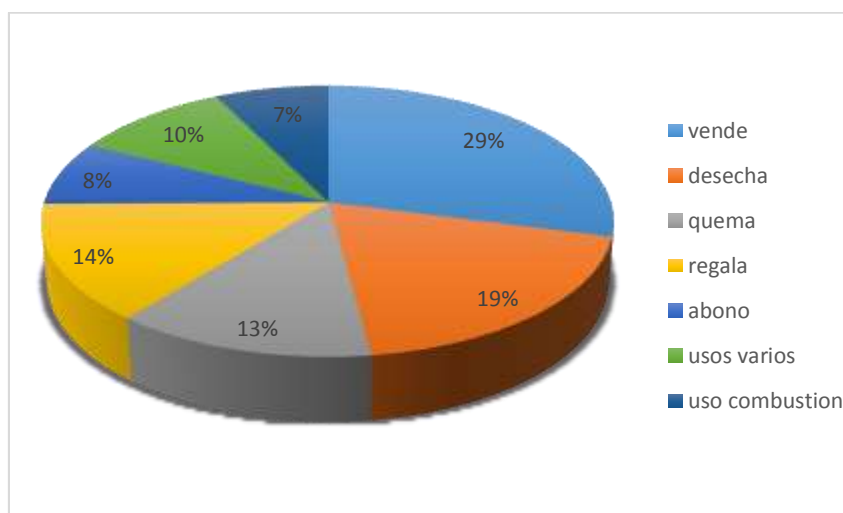
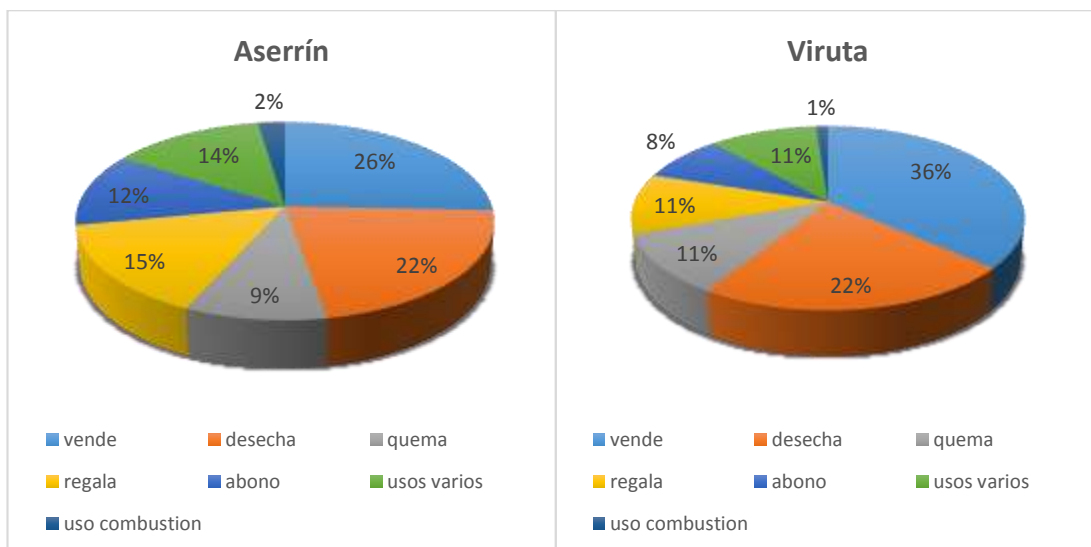


Figura 3.8. Destino final de los residuos forestales de industria maderera en el cantón Riobamba.
(Fuente: Propia)



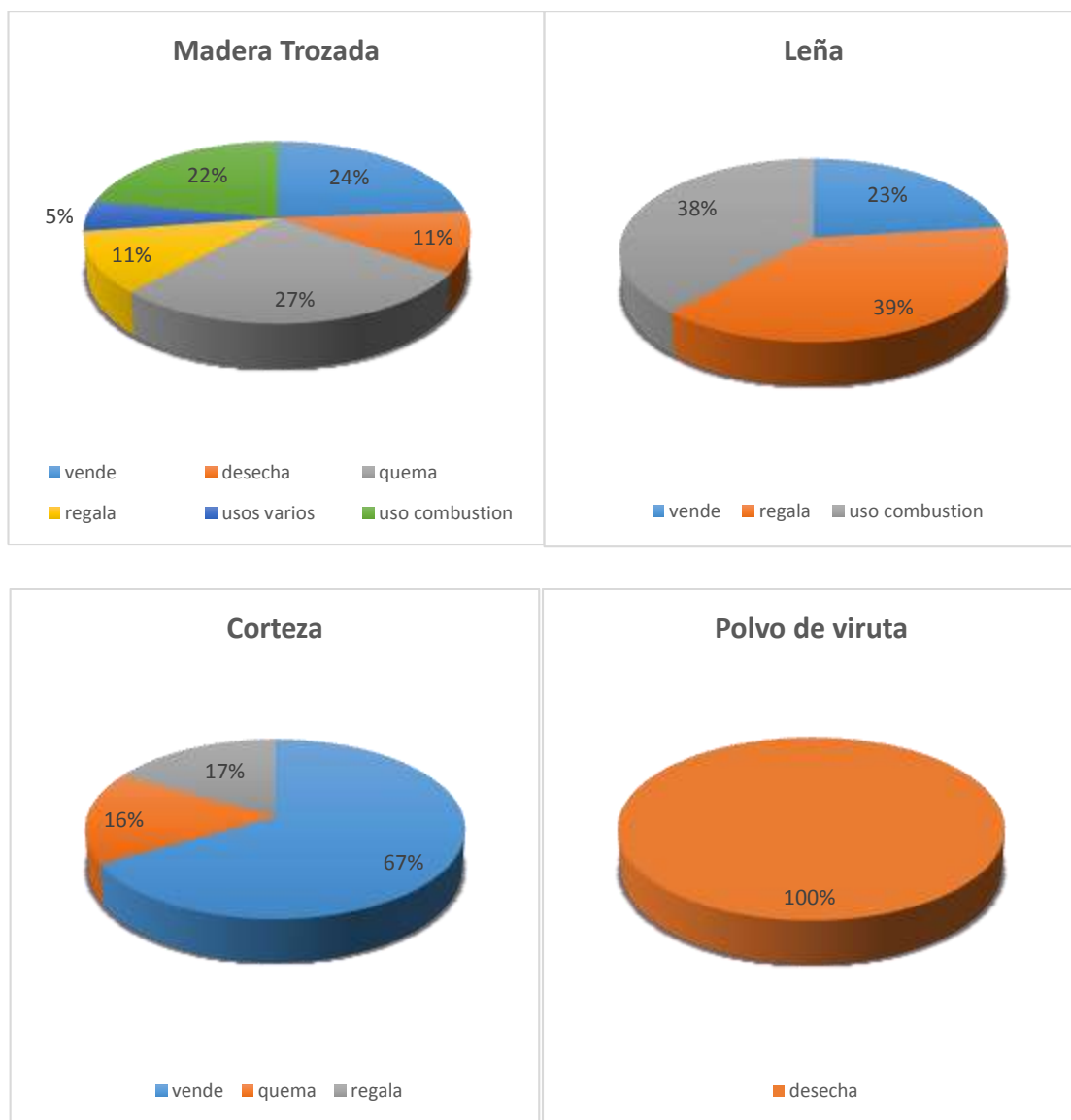


Figura 3.9. Destino final por cada residuo forestal de industria maderera en el cantón Riobamba.
(Fuente: Propia)

3.1.5. Implicación económica de los residuos forestales de industria maderera para los establecimientos

La determinación de la influencia económica de los residuos forestales de industria maderera en el cantón es para conocer si estos implican un ingreso o egreso en la dinámica financiera de los establecimientos, además del valor de los mismos.

El rédito que generan los residuos forestales es debido a la venta para diversos usos, en cambio un gasto implica el valor estimado para deshacerse del mismo, principalmente por el transporte. En cualquiera de los dos casos, el valor monetario que estima el propietario del establecimiento generalmente es en relación a una unidad de volumen que es el saco comercial; haciendo uso de los factores de conversión de la

Tabla 3.8 página 61 y el resultado de la Ecuación 3.1 se calcula el valor monetario en función de la masa. En cada sector del área urbana y rural se manejan distintos valores de gasto o rédito, en el diagrama de barras que representa la Figura 3.10 se muestran los valores promedio de rédito o gasto por cada tipo de residuo de industria maderera detectado a través de las encuestas en el cantón.

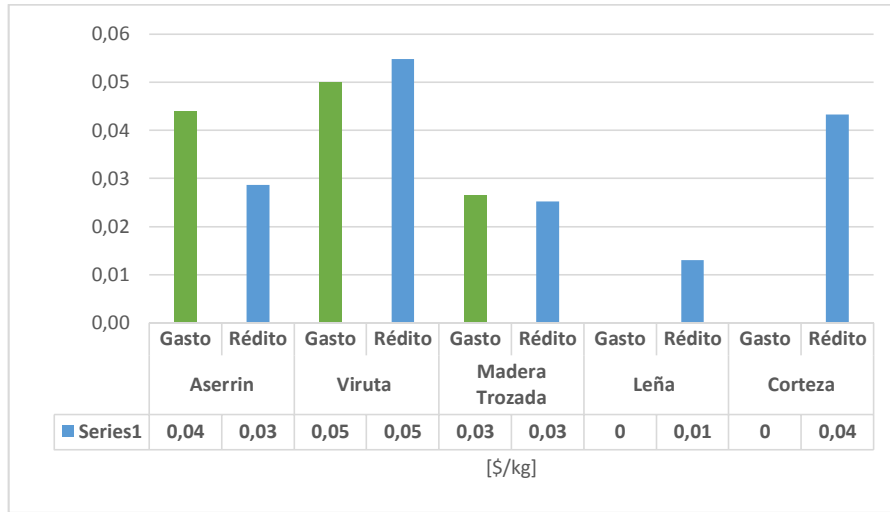
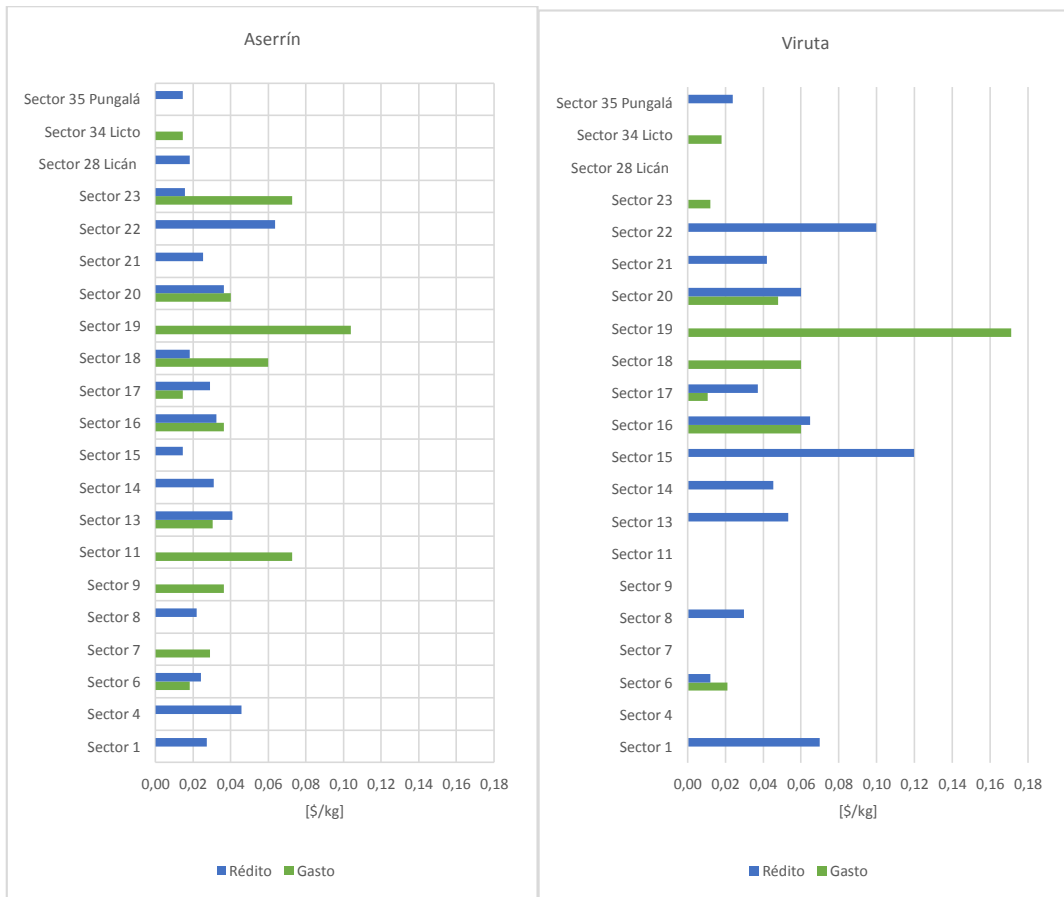


Figura 3.10. Valores de gasto o rédito económico promedio de los residuos forestales de la industria maderera en el cantón Riobamba.
(Fuente: Propia)



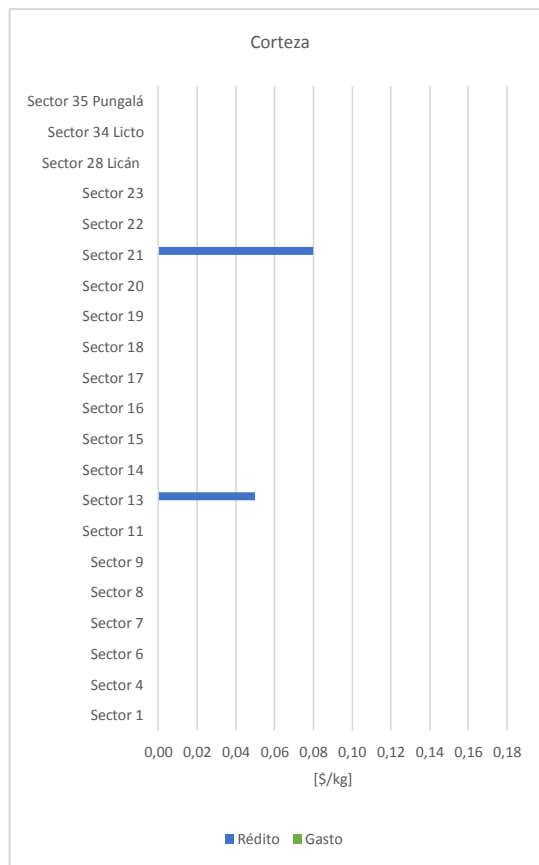
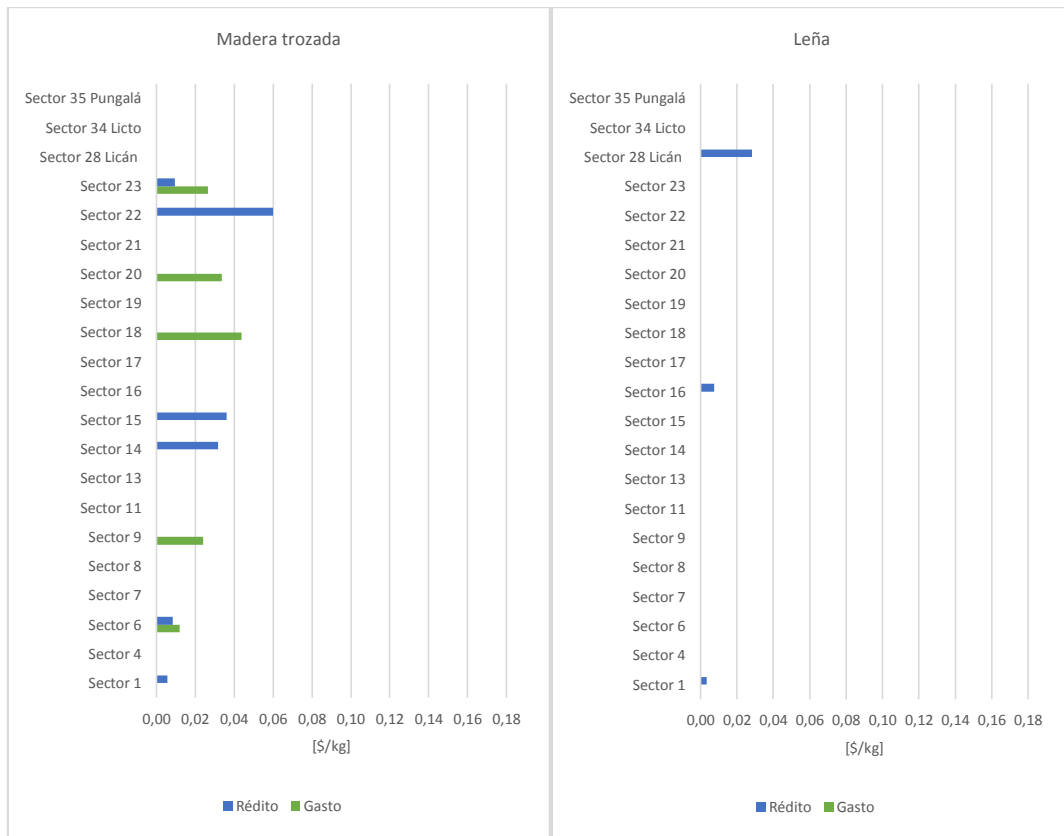


Figura 3.11. Valores de gasto o rédito económico promedio de los residuos forestales de industria maderera en cada sector [\$/kg].
(Fuente: Propia)

En la Figura 3.10 se aprecia que en el cantón Riobamba el residuo forestal de industria maderera que mayor valor de rédito promedio representa es la viruta, con un valor de 5 ctvs/kg, pero si se trata de deshacerse del mismo el costo por esta actividad es el mismo.

El conjunto de diagramas de barras que representa la Figura 3.11 indican los valores promedio de gasto o rédito de cada uno de los desperdicios forestales por sector. La leña y la corteza tienen muy poca actividad económica según las gráficas pero en el caso de la corteza es razonable considerarlo como un residuo de poca utilidad pero en cambio la leña aparece con esta característica no por su falta de uso sino porque muy pocos establecimientos la consideran como un desperdicio o residuo, en la mayoría de los casos es completamente útil este recurso y hasta se lo tiene como un producto de venta dentro de los negocios. A través de los resultados anteriores, de manera general el costo promedio de venta de un kilogramo de residuo forestal de industria maderera (rédito) es de 0,033\$. El costo promedio del desalojo por transporte de un kilogramo de residuo forestal (gasto) es de 0,024\$.

$$\text{Rédito} = 0,033\$/kg \quad \text{Gasto} = 0,024\$/kg$$

Una vez que se ha conocido los valores de rédito o gasto económico, por parte de los propietarios de los establecimientos encuestados, se puede estimar los totales máximos de ingresos o egresos por cada establecimiento y para una connotación más amplia por sectores. En estos valores el cálculo se basa tomando en cuenta la totalidad del volumen de residuos generados multiplicado por el valor de su venta o pago por servicio de desalojo propio de cada establecimiento en un intervalo de tiempo de una semana, es decir que, para que los valores expuestos a continuación se cumplan, todos los residuos deben ser o completamente vendidos o completamente desechados en cada sector, lo cual efectivamente son los escenarios extremos en la dinámica económica del recurso biomásico del cantón. Los cálculos se indican en la Tabla 3.11 para cada uno de los residuos y en la Tabla 3.12 se presentan en función de los sectores.

Tabla 3.11. Valores máximos de gasto o rédito económico por tipo de residuo de industria maderera.

CLASE	GASTO [\$/semana]	RÉDITO [\$/semana]
Viruta	2,82	257,43
Aserrín	63,86	265,71
Corteza	0,00	10,43
Madera Trozada	8,64	43,43
Leña	0,00	12,63
Polvo	0,00	0,00
TOTAL	75,32	589,61

(Fuente: Propia)

Tabla 3.12. Valores máximos de gasto o rédito económico por sector.

SECTOR	GASTO [\$/semana]	RÉDITO [\$/semana]
Sector 1		39,45
Sector 4		1,26
Sector 6	1,35	20,85
Sector 7	8	
Sector 8		3,05
Sector 9	7	
Sector 11	3	
Sector 13	1,26	131,75
Sector 14		82,5
Sector 15		4,38
Sector 16	4,5	27,10
Sector 17	20	92,6
Sector 18	10,49	0,75
Sector 19	7,51	
Sector 20	8,6	7,5
Sector 21		103,38
Sector 22		55,75
Sector 23	3,3	7,15
Sector 28 Licán		11,75
Sector 34 Licto	0,31	
Sector 35 Pungalá	0	0,4
TOTAL	75,32	589,61

(Fuente: Propia)

Las Figuras 3.12 y 3.13 representan de manera gráfica lo descrito en las anteriores tablas. El aserrín es el residuo forestal de industria maderera que mayor gasto o rédito puede generar y es coherente este resultado dado que es el residuo más abundante en el cantón, véase Figura 3.5 página 93. No obstante la viruta es el residuo de mayor valor o costo como se vio en la Figura 3.10.

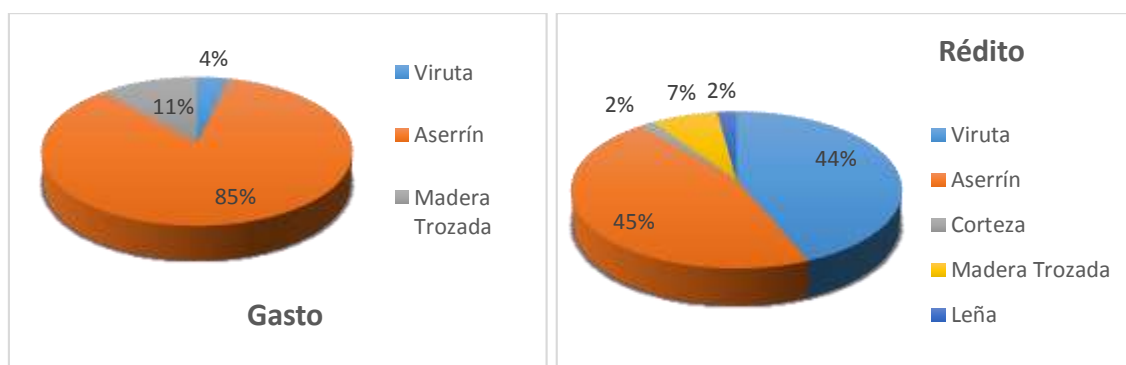


Figura 3.12. Porcentaje de participación de los residuos en el gasto y rédito económico (Fuente: Propia)

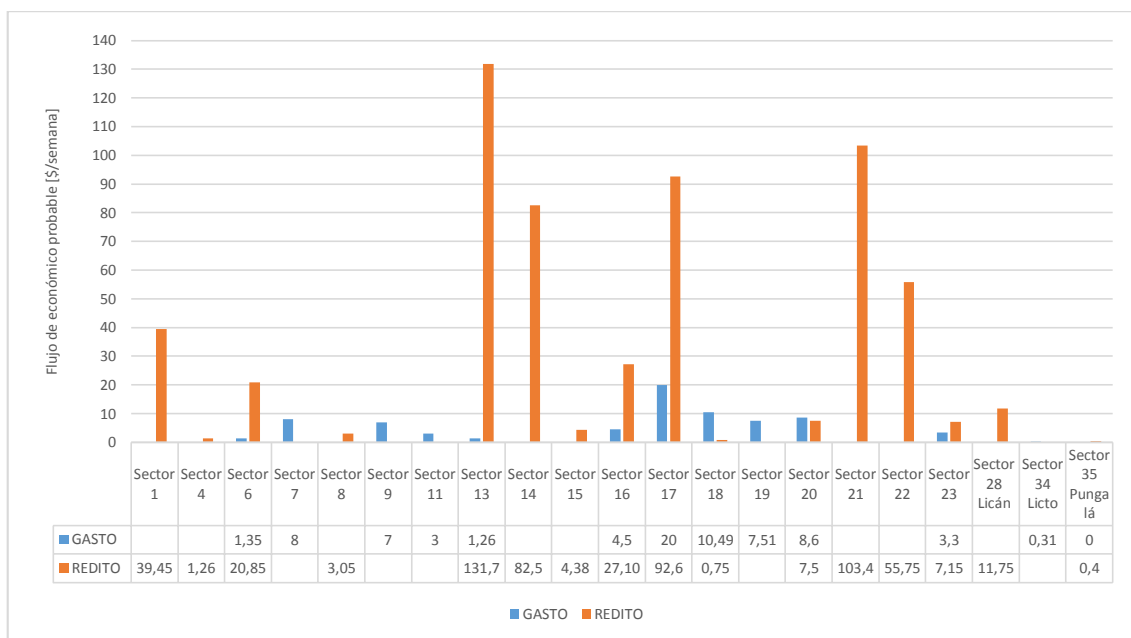


Figura 3.13. Valores máximos de gasto o rédito económico por cada sector [\$/semana].
(Fuente: Propia)

Al ver la Figura 3.13 de manera general se puede obtener más rédito que gasto al activar económicamente a los residuos forestales de industria maderera, los sectores que más se beneficiarían son el 13, 21, 17, 14 y 22 ya que como se vió anteriormente pertenecen al grupo de sectores con mayor cantidad de generación de residuos, véase la Figura 3.7 página 64.

3.1.6. Cantidad de residuos forestales de industria maderera disponibles para uso energético

La disponibilidad de los recursos es quizá el parámetro más importante para la valoración económica de un proyecto de aprovechamiento energético a partir de biomasa. Diversos estudios exponen el potencial que se tiene de varias fuentes renovables, pero las cifras entre lo potencial y lo aprovechable difieren, en algunos casos en gran cantidad, y esto es a causa de varios factores como la disponibilidad, factibilidad, tecnología existente, entre otros. En el caso de estudio, el potencial existente en cualquier lugar donde se trabaje con recursos forestales y madera, desde bosques hasta talleres artesanales, es bastante apreciable teóricamente, muestra de ello es la Tabla 1.2 página 12 donde se expone la cantidad de residuos generados en el proceso de industrialización de la madera, de una unidad de especie forestal aproximadamente el 75% es biomasa, pero como se ha expuesto con anterioridad no todo este valor podría ser destinado a fines energéticos de gasificación, una cantidad resulta útil industrialmente como por ejemplo en la fabricación de aglomerados, otra se usa en combustión directa y un porcentaje se destina a varios usos como el abono,

adecuación de animales y demás actividades. Otra importante cantidad de biomasa se queda en los mismos sitios de explotación de árboles y resulta inviable su extracción. Actualmente en el Ecuador, las valoraciones en torno al potencial biomásico forestal se encuentran calculadas en base a valores teóricos de generación de residuos y no representan una cantidad de energía aprovechable a corto y mediano plazo. Para que dicho potencial se convierta en una cantidad realmente utilizable se deberían analizar varios ejes sociales, económicos y político-ambientales con propuestas de cambios a la realidad actual. Por tanto, los recursos biomásicos disponibles inmediatos para uso energético a través de gasificación son aquellos que los mismos agentes generadores, es decir los propietarios de los establecimientos, estén dispuestos a donar. Esta cantidad de biomasa evidentemente no altera ninguna dinámica socioeconómica puesto que resultaría ser con certeza aquella que es destinada a desecho y quema, fines no útiles.

En base a las encuestas realizadas en el cantón Riobamba, la cantidad de residuos forestales de industria maderera que están disponibles para su acopio a través del consenso de donación de los establecimientos hacia la ESPOCH con fines investigativos son los que se presentan en las siguientes Tabla 3.13 y Figura 3.14, para presentar el valor de sus masa en toneladas, el proceso es el mismo que se siguió antes usando los factores de conversión de la Tabla 3.8 página 61 y el resultado de la Ecuación 3.1.

Tabla 3.13. Masa de residuos forestales de industria maderera disponibles en el cantón Riobamba por sectores.

t/semana	TIPOS DE RESIDUOS					
SECTOR	Aserrín	Viruta	Madera Trozada	Leña	Corteza	Total
Sector 13	0,771	1,210	0,010	0,000	0,025	2,017
Sector 16	0,406	0,148	0,000	0,630	0,000	1,184
Sector 23	0,547	0,054	0,146	0,319	0,000	1,067
Sector 18	0,558	0,021	0,376	0,000	0,000	0,954
Sector 8	0,647	0,292	0,000	0,000	0,000	0,939
Sector 14	0,289	0,275	0,292	0,000	0,000	0,857
Sector 4	0,303	0,092	0,000	0,319	0,000	0,714
Sector 21	0,348	0,002	0,063	0,004	0,250	0,667
Sector 15	0,303	0,050	0,303	0,000	0,000	0,656
Sector 6	0,179	0,100	0,376	0,000	0,000	0,655
Sector 20	0,300	0,093	0,125	0,000	0,000	0,519
Sector 9	0,234	0,025	0,146	0,000	0,000	0,405
Sector 5	0,083	0,311	0,000	0,000	0,000	0,394
Sector 12	0,124	0,000	0,250	0,000	0,000	0,374
Sector 7	0,344	0,000	0,021	0,000	0,000	0,365

Sector 22	0,028	0,008	0,298	0,000	0,000	0,334
Sector 17	0,165	0,167	0,000	0,000	0,000	0,332
Sector 19	0,096	0,019	0,000	0,000	0,000	0,115
Sector 28 Licán	0,110	0,000	0,000	0,000	0,000	0,110
Sector 24	0,096	0,000	0,000	0,000	0,000	0,096
Sector 1	0,041	0,050	0,000	0,000	0,000	0,091
Sector 11	0,086	0,000	0,000	0,000	0,000	0,086
Sector 27 Cacha	0,000	0,083	0,000	0,000	0,000	0,083
Sector 34 Licto	0,031	0,015	0,000	0,000	0,000	0,046
Sector 25 Calpi	0,021	0,010	0,000	0,000	0,000	0,031
Sector 2	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,019
Sector 10	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017
Sector 26 San Juan	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017
Sector 35 Pungalá	0,007	0,004	0,000	0,000	0,000	0,011
Sector 3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sector 29 Cubijíes	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sector 30 Quimiag	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sector 31 San Luis	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sector 32 Punín	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sector 33 Flores	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	6,153	3,050	2,406	1,272	0,275	13,157

(Fuente: Propia)

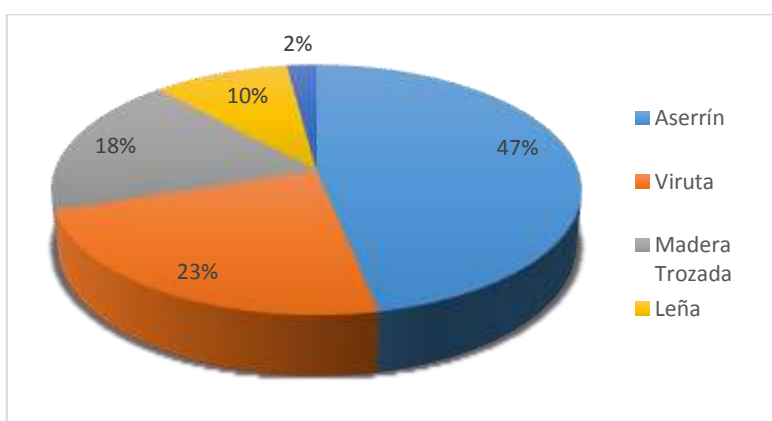


Figura 3.14. Residuos Forestales de industria maderera BIOMASA disponible para fines energéticos en el cantón Riobamba.

(Fuente: Propia)

En la Figura 3.14 se nota que los residuos forestales de industria maderera disponibles de mayor abundancia son el aserrín, la viruta y la madera trozada representando casi el 90% de los recursos disponibles de manera inmediata.

En la Tabla 3.13 se puede observar que de las 61,2 toneladas de residuos forestales de industria maderera generados en el cantón Riobamba en una semana, 13,16 toneladas están disponibles como donación para su acopio y uso con fines de generación

energética, esto significa que de la totalidad de residuos forestales el 21,5% está disponible de manera inmediata y sin costo alguno, véase la representación gráfica en la Figura 3.15.

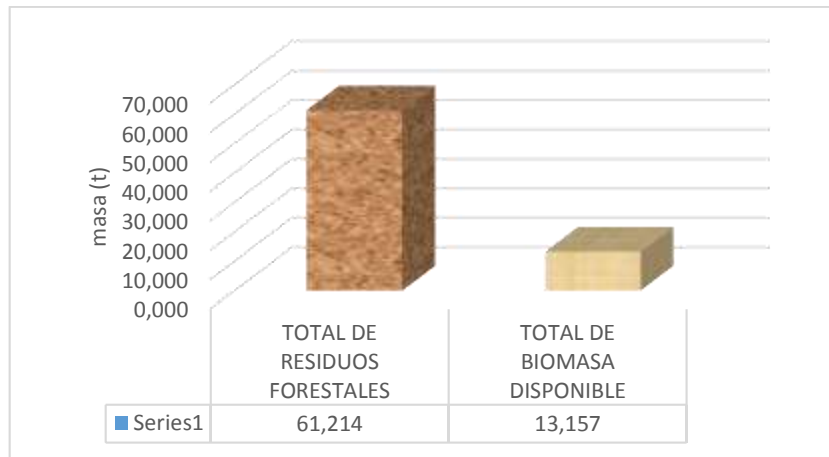


Figura 3.15. Total de residuos forestales de industria maderera vs total de biomasa disponible como donación en el cantón Riobamba. (Fuente: Propia)

La Figura 3.16 presenta comparativamente en barras la cantidad de residuos generados y la cantidad de residuos disponibles en cada sector, no siempre los establecimientos que más generan son los mayores donantes, caso particular del sector 21. Los sectores que más cantidad de residuos generan coincidentemente son los que mayor recurso biomásico disponible tienen.

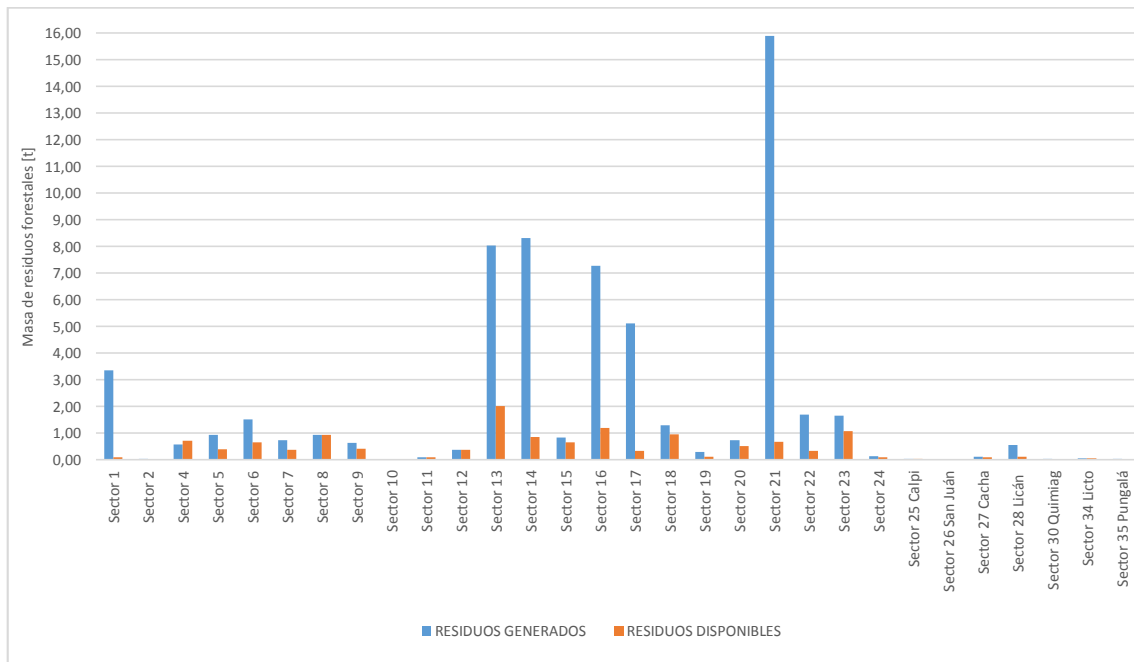


Figura 3.16. Residuos forestales de industria maderera: residuos generados vs residuos disponible como donación por sectores. (Fuente: Propia)

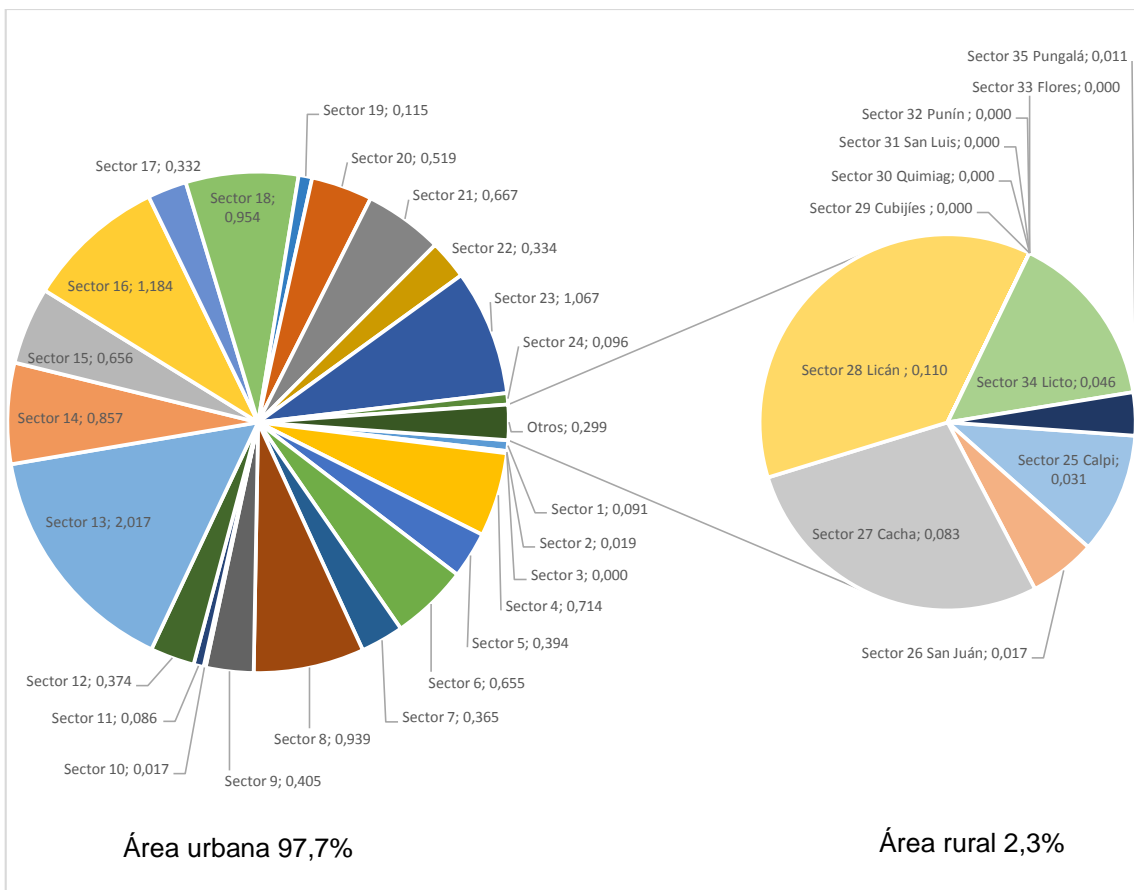
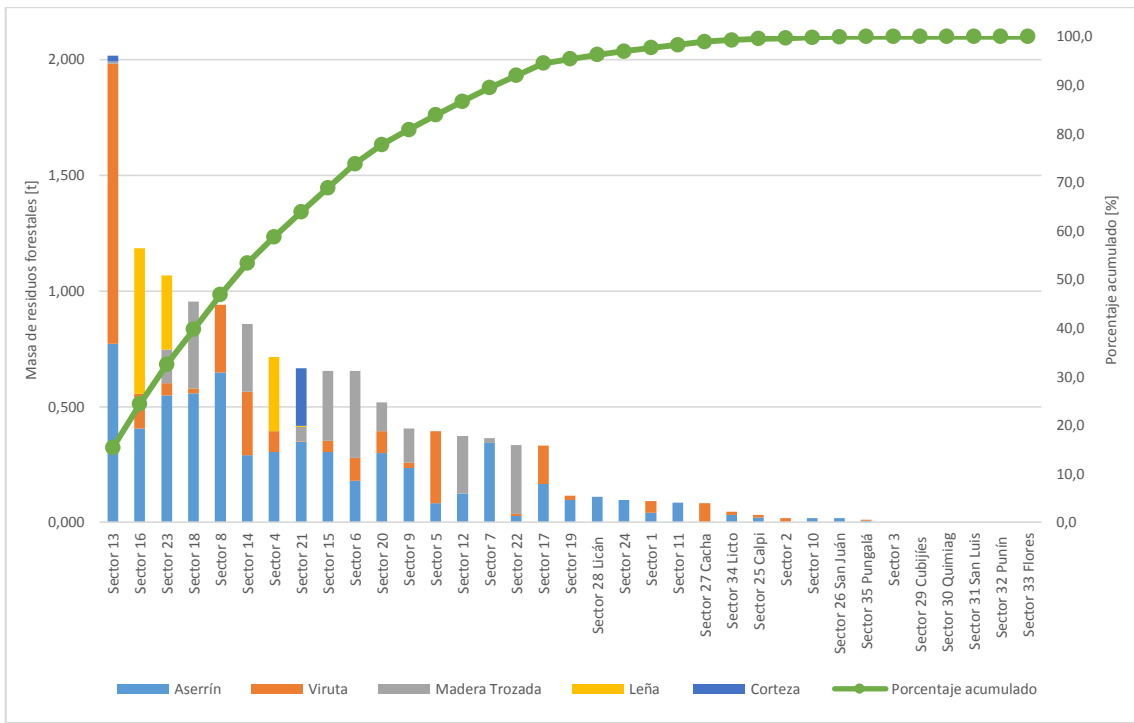


Figura 3.17 Masa de residuos forestales de industria maderera disponibles en el cantón Riobamba por sectores [t/semana].
(Fuente: Propia)

La Figura 3.17 primero muestra en el diagrama de Pareto que los sectores de mayor incidencia en residuos forestales disponibles son 13, 16, 23, 18, 8, 14, 4, 21, 15, 6, 20, y 9; los doce sectores en conjunto representan el 80,8%. Luego en la segunda parte de la gráfica se puede notar que el sector rural tiene una incidencia muy baja en biomasa forestal disponible con solo el 2,3% de la cantidad total que es 13,16t. En detalle la cantidad de biomasa que poseen los sectores de mayor incidencia se presenta en la Tabla 3.14 a continuación.

Tabla 3.14. Sectores representativos de la disponibilidad de biomasa forestal residual de industria maderera en el cantón Riobamba.

SECTOR	TOTAL [t]	PORCENTAJE ACUMULADO [%]
Sector 13	2,017	15,3
Sector 16	1,184	24,3
Sector 23	1,067	32,4
Sector 18	0,954	39,7
Sector 8	0,939	46,8
Sector 14	0,857	53,3
Sector 4	0,714	58,8
Sector 21	0,667	63,8
Sector 15	0,656	68,8
Sector 6	0,655	73,8
Sector 20	0,519	77,7
Sector 9	0,405	80,8
TOTAL	10,634	

(Fuente: Propia)

3.1.7. Cálculo de la energía aprovechable de la biomasa residual de madera

En este apartado se calcula la cantidad de energía que se puede obtener de la biomasa forestal residual de la industria maderera cuantificada. La primera forma de obtención de energía de estos tipos de combustibles es la combustión y la propiedad que se asocia es el poder calorífico, a través de este parámetro se puede estimar el primer dato energético de los recursos estudiados. El segundo dato energético y que es de mayor interés para esta investigación, es la cantidad de energía aprovechable a través de la gasificación downdraft. Los valores característicos de dicho gas se encuentran a través de un análisis cromatográfico y los parámetros de funcionamiento del gasificador se los determinaron a través de una medición in situ en las experimentaciones realizadas.

Como se menciona en la Metodología, el poder calorífico en el caso de los recursos forestales se encuentra afectado por el contenido de humedad y en una medida más pequeña por la especie. El valor de la humedad de los residuos forestales depende en

gran medida de la fase del proceso en que se extraiga y del secado de la materia prima antes de esa fase; dicho de otro modo la humedad depende del tipo de residuo. Para los tipos de residuos forestales de la industria maderera encontrados en el estudio se presenta a continuación la estimación teórica de sus humedades en función de la Tabla 2.6 página 33, y el valor de su poder calorífico en función de su humedad en base al Anexo 4. El polvo de viruta no se enlista debido a que no representa un residuo disponible y adicionalmente su cantidad es la más pequeña de todos los residuos.

A través de los resultados de la Tabla 3.15, se puede observar que en el cantón Riobamba se tiene un total de energía disponible de 48,79 MWh/semana (175,54GJ/semana) si es que la biomasa va a ser utilizada para combustión directamente. Este dato se encuentra contemplado en su totalidad los tipos de residuos generados tanto en el sector urbano como en el sector rural.

Tabla 3.15. Energía disponible en base al poder calorífico de los residuos forestales de industria maderera del cantón Riobamba en una semana.

TIPO DE RESIDUO	U [%]	PC [MWh/t]	PC [GJ/t]	MASA [t]	ENERGIA [MWh/semana]	ENERGIA [GJ/semana]
Aserrín	33	3,22	11,59	6,153	19,81	71,32
Viruta	15	4,27	15,36	3,050	13,02	46,85
Madera Trozada	15	4,27	15,36	2,406	10,27	36,95
Leña	20	3,98	14,31	1,272	5,06	18,21
Corteza	50	2,23	8,03	0,275	0,61	2,21
TOTAL				13,157	48,79	175,54

Nota: U: Humedad, PC: Poder calorífico
(Fuente: Propia)

Como se vió en la Tabla 3.14, existe un grupo de sectores con incidencia mayoritaria que representan el 80,8% de los recursos disponibles. Es conveniente hacer esta selección ya que el recurso se debe extraer de los lugares donde mayor acumulación se tenga. De esta manera la energía disponible de la biomasa residual forestal de la industria maderera en base al PC de los sectores representativos se indica en la Tabla 3.16. Ninguno de los sectores rurales es una potencial fuente de biomasa disponible debido a la pequeña cantidad que representan. A partir del valor total mostrado en la mencionada tabla se realizarán los cálculos posteriores.

Cuando se trata de cantidades de energía es siempre recomendable hacer una comparación con valores de energéticos de uso común para identificar de mejor manera las cifras que se están tratando, dicho de otra manera, se podría realizar la conversión de las cantidades de energía anteriormente señaladas de biomasa a unidades de energía representadas en combustibles de uso común como son el diésel la gasolina y

el gas licuado de petróleo o GLP. En el Ecuador los valores de poder calorífico de los combustibles mencionados se representan en la Tabla 3.17.

Tabla 3.16. Energía disponible en base al PC de la biomasa residual forestal de la industria maderera de los sectores representativos del cantón Riobamba en una semana.

TIPO DE RESIDUO	U [%]	PC [MWh/t]	PC [GJ/t]	MASA [t]	ENERGIA [MWh/semana]	ENERGIA [GJ/semana]
Aserrín	33	3,22	11,59	4,885	15,73	56,62
Viruta	15	4,27	15,36	2,362	10,09	36,28
Madera Trozada	15	4,27	15,36	1,837	7,84	28,22
Leña	20	3,98	14,31	1,272	5,06	18,20
Corteza	50	2,23	8,03	0,275	0,61	2,21
TOTAL				10,631	39,34	141,62

Nota: U: Humedad, PC: Poder calorífico
(Fuente: Propia)

Por lo tanto la masa total disponible M_T y la cantidad de energía disponible E_{Disp} en base al PC son:

$$M_T = 10,631 t$$

$$E_{Disp} = 39,34 MWh/semana$$

Tabla 3.17. Valor del poder calorífico de combustibles en Ecuador.

COMBUSTIBLE	PODER CALORIFICO NETO
DIESEL	10,700 [kWh/l]
GASOLINA	9,553 [kWh/l]
GLP	12,970 [kWh/kg]

Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2016)

En la Tabla 3.18 se presentan los resultados obtenidos de las cantidades equivalentes de diésel, gasolina y GLP que representa la energía disponible E_{Disp} en base a la PC de la biomasa residual forestal de la industria maderera. También se indica el valor económico a la actualidad de estas cantidades de combustibles con subsidio y sin subsidio (precio de venta internacional). El valor indicado para la bombona de GLP es el correspondiente para el uso doméstico, ya que en nuestro país existe una tarifa diferenciada para el sector industrial o comercial.

En la Figura 3.18 se presenta de forma práctica los resultados de la Tabla 3.18, donde se puede observar qué cantidad de combustibles fósiles representa la energía de biomasa disponible, además el valor económico que representa la utilización de estos recursos fósiles. Se recuerda que estos valores están estimados en un intervalo de tiempo de una semana.

Tabla 3.18. Equivalencia de Energía disponible y representación económica del diésel, gasolina y GLP en una semana.

COMBUSTIBLE	EQUIVALENCIA DE ENERGIA DISPONIBLE E_D	COSTO ECUADOR (Julio 2017)	REPRESENTACION ECONOMICA [\$] CON SUBSIDIO	COSOTO INTERNACIONAL (julio 2017)	REPRESENTACION ECONOMICA [\$] SIN SUBSIDIO
DIESEL	956,11 gal	1,02 \$/gal	975,23	3,37 \$/gal	3222,09
GASOLINA	1070,91 gal	1,48 \$/gal	1584,94	3,83 \$/gal	4101,58
GLP	199,03 bombonas	1,6 \$/bombona	318,45	0,56 \$/l	3023,30

Nota: Bombona=15kg de GLP. Densidad de GLP a 15,5°C mezcla de butano 40% y propano 60%=553kg/m³.

Fuente: (Densidad GLP (Instituto ecuatoriano de normalización INEN, 2013). Costos combustibles: (Global Prices, 2017)



Figura 3.18. Representación de la Energía disponible de biomasa forestal de la industria maderera del cantón Riobamba en función de combustibles de petróleo en una semana. (Fuente: Propia)

La energía disponible de biomasa forestal y su equivalencia en combustibles fósiles necesita ser transformada para su aprovechamiento como tal. El común denominador de los energéticos expuestos es la generación de energía térmica, por lo que la tecnología de combustión para cada uno de ellos tiene sus características particulares como es la eficiencia. La energía útil en los correspondientes procesos de combustión es distinta dependiendo del combustible y su tecnología usada.

Como se mencionó al inicio de este apartado de cuantificación energética el segundo resultado al que se pretende llegar es a la cantidad de energía disponible a través del proceso de gasificación downdraft. La experimentación es muy importante para obtener los datos de funcionamiento como caudales máxicos de agente gasificante (aire) y gas pobre producido. A continuación se describe los resultados obtenidos de la etapa experimental.

Para el arranque del gasificador se requiere la combustión de biomasa forestal, los resultados obtenidos indican que la materia prima más abundante en el sector maderero es el eucalipto, por tanto, considerando la información de la composición química de esta especie, Tabla 2.11 página 44, se calcula la masa de aire teórico o estequiométrico requerida para su combustión a través de la Ecuación 2.1 página 44.

$$m_{at} = 5,90 \text{ kg/kg}$$

La masa de aire real para asegurar una combustión completa en el arranque tomado un coeficiente de exceso de aire de 1,5 según la Tabla 2.12 página 45, y la Ecuación 2.2, es:

$$m_{ar} = 8,85 \text{ kg/kg}$$

Considerando en la Ecuación 2.4 página 46, una temperatura de 20°C para el aire y un consumo de combustible de 15kg/h, se encuentra el flujo volumétrico de aire para combustión:

$$\dot{V}_{a \text{ arranque}} = 0,0426 \frac{m^3}{s} = 153,29 \frac{m^3}{h}$$

La masa de aire requerida para gasificación usando la composición de la madera, Tabla 2.11 página 44, y una relación de equivalencia de 0,25 según lo recomendado (Basu, Biomass gasification and pyrolysis: Practical Design, 2010), se calcula con la Ecuación 2.3 página 45:

$$m_{ag} = 1,475 \text{ kg/kg}$$

Considerando nuevamente la Ecuación 2.4, una temperatura de 48°C para el aire y un consumo de biomasa de 40kg/h, se encuentra el flujo volumétrico de aire requerido para gasificación:




$$\dot{V}_{a \text{ gasificación}} = 0,0207 \frac{m^3}{s} = 74,639 \frac{m^3}{h}$$

La cantidad de biomasa utilizada para el arranque y para el proceso de gasificación como tal es registrada en la Tabla 3.19. Es importante el control de los caudales máxicos de combustible y aire en la etapa de arranque así como su tiempo de combustión, para que su estadía en el hogar del gasificador sea específicamente para el calentamiento del equipo, una vez concluida esta fase se agregará la biomasa a gasificar y a partir de este momento el aire se reduce al flujo volumétrico $\dot{V}_{a \text{ gasificación}}$, en cuyo caso se estará

promoviendo las reacciones con deficiencia de aire. Cada acción quedará registrada con un cronometraje que inicia en cero al comenzar la etapa de arranque.

Tabla 3.19. Proceso de arranque y puesta en marcha.





ACTIVIDAD	CANTIDAD	TIEMPO [HH:MM]	IMAGEN
Inspección del equipo de gasificación	-	0:00	
Biomasa: Madera trozada de eucalipto, dimensiones aproximadas de 3cmx2cmx10cm	40 kg/h de madera trozada para gasificación	0:00	
Registro de peso de biomasa leña y madera trozada	15 kg de madera trozada o leña para arranque 40 kg de madera trozada para gasificación	0:00	
Arranque del gasificador con combustión de leña y madera trozada	15 kg	0:00	
Control de flujo volumétrico de aire para combustión completa \dot{V}_a arranque $T_5 = 20^\circ\text{C} = 293\text{K}$ $P_{atm} = 72875\text{Pa}$ PI-20	$153,29 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ Válvula abierta al 100% $\Delta P_{caudalímetro} = 5,4\text{cmH}_2\text{O}$	0:05	

Calentamiento del equipo de gasificación	-	0:30	
Dosificación de Biomasa trozada de madera para gasificación	40 kg/h	1:00	
Control de flujo volumétrico de aire para gasificación \dot{V}_a gasificación $T_6 = 48^\circ\text{C} = 321\text{K}$ $P_{atm} = 72875\text{Pa}$ PI-20	$74,639 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ $= 59,09 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ $\Delta P_{caudalímetro} = 1,4\text{cm}$	1:01	
Producción de gas pobre		1:05	
Registro de flujo volumétrico de gas pobre \dot{V}_g producido $T_3 = 70^\circ\text{C} = 343\text{K}$ $P_{atm} = 72875\text{Pa}$ PI-10	$129,93 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ $= 88,88 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ $\Delta P_{caudalímetro} = 10,5\text{cm}$	1:16	

(Fuente: Propia)

Como se puede observar en la Tabla 3.19, una vez alcanzada la producción de gas pobre este se lo puede combustionar inmediatamente en la chimenea de salida lo cual demuestra que se está consiguiendo un gas combustible con este proceso de gasificación. En esta fase se debe controlar la condición constante del funcionamiento del gasificador con el objetivo de tomar la muestra del gas para su análisis en el laboratorio.

Tabla 3.20. Registro de datos y toma de muestra de gas pobre.

ACTIVIDAD	DETALLE	TIEMPO [HH:MM]	IMAGEN
Registro de temperaturas de agente gasificante y gas pobre T3, T5 y T6.	Cada 15 min	Desde 1:00 hasta 2:00	
Registro de flujo volumétrico del gas pobre producido. PI-10	Cada 15 min	Desde 1:00 hasta 2:00	
Registro de flujo volumétrico del aire que ingresa al gasificador. PI-20	Cada 15 min	Desde 1:00 hasta 2:00	
Toma de muestra de gas pobre	Se recogen dos muestras para el laboratorio		
Almacenamiento y transporte de muestra de gas pobre	El transporte se lo realiza en un cooler para prevenir su contaminación		
Análisis cromatográfico del gas pobre Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de análisis instrumental EPN. Ver resultados en Tabla 3.22	Cromatógrafo de gases modelo: Perkin Elmer Clarus 500		

(Fuente: Propia)

En la Tabla 3.21 se presentan los registros de los parámetros de gasificación como la presión diferencial que sirve para calcular el flujo volumétrico, ver Anexo 7 y los valores correspondientes de densidad del gas y del aire, Anexos 8 y 11 correspondientemente.

Tabla 3.21. Registro de parámetros gasificación.

HORA	PI-10 [cmH2O]	\dot{V}_g producido [m ³ /h]	\dot{m}_g producido [kg/h]	PI-20 [cmH2O]	\dot{V}_a gasificación [m ³ /h]	\dot{m}_a gasificación [kg/h]
1:00	10,6	130,27	88,03	1,5	79,12	62,59
1:15	10,5	129,94	88,88	1,5	79,12	62,59
1:30	10,5	129,94	88,88	1,5	79,12	62,59
1:45	10,4	129,58	87,57	1,5	79,12	62,59
2:00	10,5	129,94	88,88	1,5	79,12	62,59

(Fuente: Propia)

Los resultados del análisis cromatográfico se encuentran en la Tabla 3.22, el respaldo de la originalidad de estos valores se lo puede apreciar en el Anexo 13.

Tabla 3.22. Resultados de análisis cromatográfico en laboratorio EPN.

ANALISIS LAI-17-039		
NORMA ASTM 1945-03 (2010)		
COMPONENTES	% PESO	% MOLES
Hidrógeno	1,98	26,28
Oxígeno	0,33	0,28
Nitrógeno	17,16	16,38
CO	7,4	7,06
Metano	4,56	7,6
CO2	66,99	40,7
Etano	1,11	0,99
Agua	0,48	0,71
Total	100	100

DENSIDAD RELATIVA	0,93	
DENSIDAD	1,10	kg/Nm ³
Poder calorífico superior a 25°C	2864,95	Btu/lb
	6,681	MJ/kg
Poder calorífico inferior a 25°C	2229,13	Btu/lb
	5,198	MJ/kg

Nota: Condiciones normales del aire, 1 atmosfera y 25°C. $\rho=1,184 \text{ kg/m}^3$

Fuente: (Análisis cromatográfico de gas pobre, Laboratorio de análisis instrumental EPN, Anexo 13.)

Con los datos obtenidos anteriormente se realizan los cálculos para el balance de masa representado en la Figura 2.13 y la Ecuación 2.6, página 48. Para una mejor exposición en la Tabla 3.23 se encuentran los valores de este balance.

Tabla 3.23. Balance de masas en el proceso de gasificación.

Temperatura de aire, agente gasificante	48	°C
Densidad de aire	0,791	kg/m ³
Temperatura gas	70	°C
R Constante particular del gas, experimental	0,3106	kJ/kg K
Densidad de gas	0,684	kg/m ³
Presión atmosférica Riobamba	72,875	kPa
ENTRADAS		
Flujo másico de biomasa forestal	40	kg/h
Flujo másico de aire agente gasificante	62,59	kg/h
Total	102,59	kg/h
SALIDAS [kg/h]		
Flujo másico del gas pobre	88,88	kg/h
Flujo másico de condensables	0,28	kg/h
Flujo másico cenizas	3,7	kg/h
Total	92,86	kg/h

(Fuente: Propia)

A manera de cálculos adicionales, en la Tabla 3.24 se exponen varios índices de funcionamiento propios del gasificador, los mismos que servirán para comparaciones con otros estudios como se expone en el apartado de Discusión página 87. Dichos índices están en función de un valor de masa que corresponde a la biomasa forestal residual de la industria maderera, por ejemplo: La razón de producción de gas 2,22 kg/kg, lo que quiere decir es que se ha producido 2,22 kilogramos de gas pobre por cada kilogramo de biomasa forestal; no se debe mal interpretar este resultado como si se estuviera creando materia, se recuerda que el gas tiene una densidad mucho menor a la de la biomasa y además también es el resultado de una reacción con otro elemento que es el aire

Tabla 3.24. Valores e Índices másicos de gasificación.

Porcentaje de recuperación de masa	90,52	%
Razón de producción de gas	2,22	kg/kg
Razón de producción de gas	2,029	Nm ³ /kg
Razón de producción de condensados	0,007	kg/kg
Razón de producción de cenizas	0,093	kg/kg
Razón de ingreso de aire	1,565	kg/kg
Aire teórico	5,90	kg/kg
Razón de equivalencia ER experimental	0,265	

Nota: condiciones normales del aire, 1 atmosfera y 25°C.

(Fuente: Propia)

Los cálculos para el balance de energía se los representa en la Tabla 3.25, atendiendo a lo expuesto en la Figura 2.14 y la Ecuación 2.7, página 49. Siguiendo el mismo

esquema del balance anterior se calculan varios índices importantes los cuales se exponen en la Tabla 3.26. Como aclaración para esta última tabla, la razón de producción de energía también está en función de la masa de biomasa residual de la industria maderera (11,55 MJ/kg).

Tabla 3.25. Balance de energías en el proceso de gasificación.

ENTRADAS	[MJ/h]	[KW]
$\dot{m}_{biomasa}PCI_{biomasa}$	614,40	170,667
$\dot{m}_{aire}h_{aire}$	20,047	5,569
Total	634,45	176,235
SALIDAS		
	[MJ/h]	[KW]
$\dot{m}_{gas}PCI_{gas}$	462,028	128,3410
$\dot{m}_{gas}h_{gas}$	136,328	37,8688
$\dot{m}_{cenizas}Cp_{cenizas}(T_{cenizas} - T_{amb})$	2,238	0,6216
$\dot{Q}_{perdido}$	25,261	7,0170
Total	625,85	173,848

(Fuente: Propia)

Tabla 3.26. Índices energéticos en gasificación.

Porcentaje de calor perdido	3,98	%
Energía producida	166,21	kW
Potencia térmica	128,34	kW
Razón de producción de energía	11,55	MJ/kg

(Fuente: Propia)

Los valores de eficiencia del proceso de gasificación se la obtiene a partir de las ecuaciones 2.12 y 2.13 página 51, eficiencia en frío η_F y eficiencia en caliente η_C correspondientemente. Estos valores son analizados de manera comparativa en la sección de Discusión.

$$\eta_F = \frac{\dot{m}_{gas}PCI_{gas}}{\dot{m}_{biomasa}PCI_{biomasa} + \dot{m}_{aire}h_{aire}} = 72,82\%$$

$$\eta_C = \frac{\dot{m}_{gas}PCI_{gas} + \dot{m}_{gas}h_{gas}}{\dot{m}_{biomasa}PCI_{biomasa} + \dot{m}_{aire}h_{aire}} = 94,31\%$$

3.2. Discusión

En este apartado se realiza una comparación de los resultados obtenidos con estudios similares, un cálculo de costos de generación con los equipos actuales y se analiza la posibilidad de implementación de una planta piloto en función de la potencia disponible.

3.2.1. Comparación de valores obtenidos de experimentación con otros estudios similares

La etapa experimental del caso de estudio proporciona valores descriptivos del proceso de gasificación con el equipo actualmente instalado, a continuación en las Tablas 3.27 y 3.28 se muestran las comparaciones de varios parámetros con estudios en condiciones similares, biomasa forestal y gasificación downdraft. Las referencias bibliográficas de dichos estudios corresponden a las fuentes (Zainal, Rifau, Quadir, & Seetharamu, 2002), (Pratik & Babu, 2009) y (Basu, Biomass gasification and pyrolysis: Practical Design, 2010)

Tabla 3.27. Comparativa de análisis elemental de gas pobre obtenido por gasificación downdraft.

AUTORES	CO	CO2	H2	CH4	N2
Caso de estudio presente 2017	7,06	40,7	26,28	7,6	16,38
Zainal Z.A. 2002	24,04	14,66	14,05	2,02	43,62
Pratik N. 2009	22	6	14	1	57
Prabir Basu 2010	21	13	17	1	48

(Fuente: Propia)

Tabla 3.28. Comparativa de parámetros de gas pobre obtenido por gasificación downdraft.

AUTORES	PC [MJ/m ³]	Eficiencia en frío η_c [%]	Razón de equivalencia	Tasa de producción de gas [Nm ³ /kg]	Densidad [kg/m ³]
Caso de estudio presente	5,718	72,82	0,265	2,029	1,1
Zainal Z.A.	5,62	80,91	0,388	1,08	1,1
Pratik N.	6,34	56,87	0,205	1,62	-
Prabir Basu	5,7	80	0,2 - 0,25	-	-

(Fuente: Propia)

En la Tabla 3.27 los valores del análisis elemental del gas pobre producido tienen una discrepancia significativa en comparación con los tres estudios propuestos. En tanto que en la Tabla 3.28 donde se llega a valorar los poderes caloríficos se tiene un óptimo resultado, así como también por el caso de la eficiencia del equipo, la razón de equivalencia, tasa de producción de gas y densidad.

Con los valores obtenidos en la sección de resultados, la discusión que se plantea se enmarca en el desarrollo de un análisis financiero con el equipo de gasificación actual de la utilidad de la biomasa forestal como energético en el cantón Riobamba y también la evaluación de la viabilidad en la implementación de una planta piloto para el aprovechamiento de la biomasa a través de los parámetros locales, cantidad de biomasa forestal residual de la industria maderera aprovechable energéticamente.

3.2.2. Análisis financiero gasificador actual

El análisis financiero del caso de estudio plantea dos escenarios, la utilización del gas pobre producido para fines térmicos o la utilización en generación eléctrica. De esta manera se obtiene los costos de generación para los dos casos propuestos y se evalúa frente a los costos actuales del gas licuado de petróleo en el primero y la energía eléctrica en el segundo. Para este desarrollo se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos que son determinantes en el uso de la biomasa para generación:

- Transporte de la biomasa residual forestal de industria maderera desde los sectores de la urbe.
- Acopio de la biomasa residual forestal de industria maderera en la planta de gasificación
- Operación de la planta de gasificación.

El transporte de la biomasa residual se lo realiza desde los sectores que se indican en la Tabla 3.14 página 76, los mismos que son los más representativos en disponibilidad de biomasa forestal aprovechable en el cantón Riobamba. A través de la Figura 3.19 y el uso de la aplicación Google Maps se estima la distancia que debe recorrer un camión de carga con capacidad de 10 toneladas hasta el lugar de procesamiento, ESPOCH. Esta figura adicionalmente indica con un código de colores la cantidad de residuos forestales aprovechables que tiene cada sector.

En el Ecuador el costo para la transportación de carga está sujeta a la libre oferta y demanda, según lo señala el Consejo Nacional de Tránsito y Transporte, sin embargo el valor referencial para rutas menores a 400 km es de 0,68\$ el flete por kilómetro. Los costos horarios ocupacionales se los ha obtenido de la Contraloría General del Estado, en su actualización de salarios mínimos para el mes de enero 2017. Estos valores se los detalla en la Tabla 3.29. En cambio en la Tabla 3.30 se presentan los cálculos de costos por transporte de los residuos forestales de la industria maderera desde los sectores de mayor incidencia.

Tabla 3.29. Valores de variables para el transporte de carga.

TRANSPORTE		
Costo transporte	0,68*	\$/km
Velocidad promedio del camión en la ciudad	20	Km/h
Tiempo de carga manual	1	h/t
Costo Ayudante	3,41**	\$/h
Costo chofer	5**	\$/h

(Fuente: Propia)

Nota: (Agencia Nacional de Transito, 2017)*, (Contraloría General del Estado, 2017)**

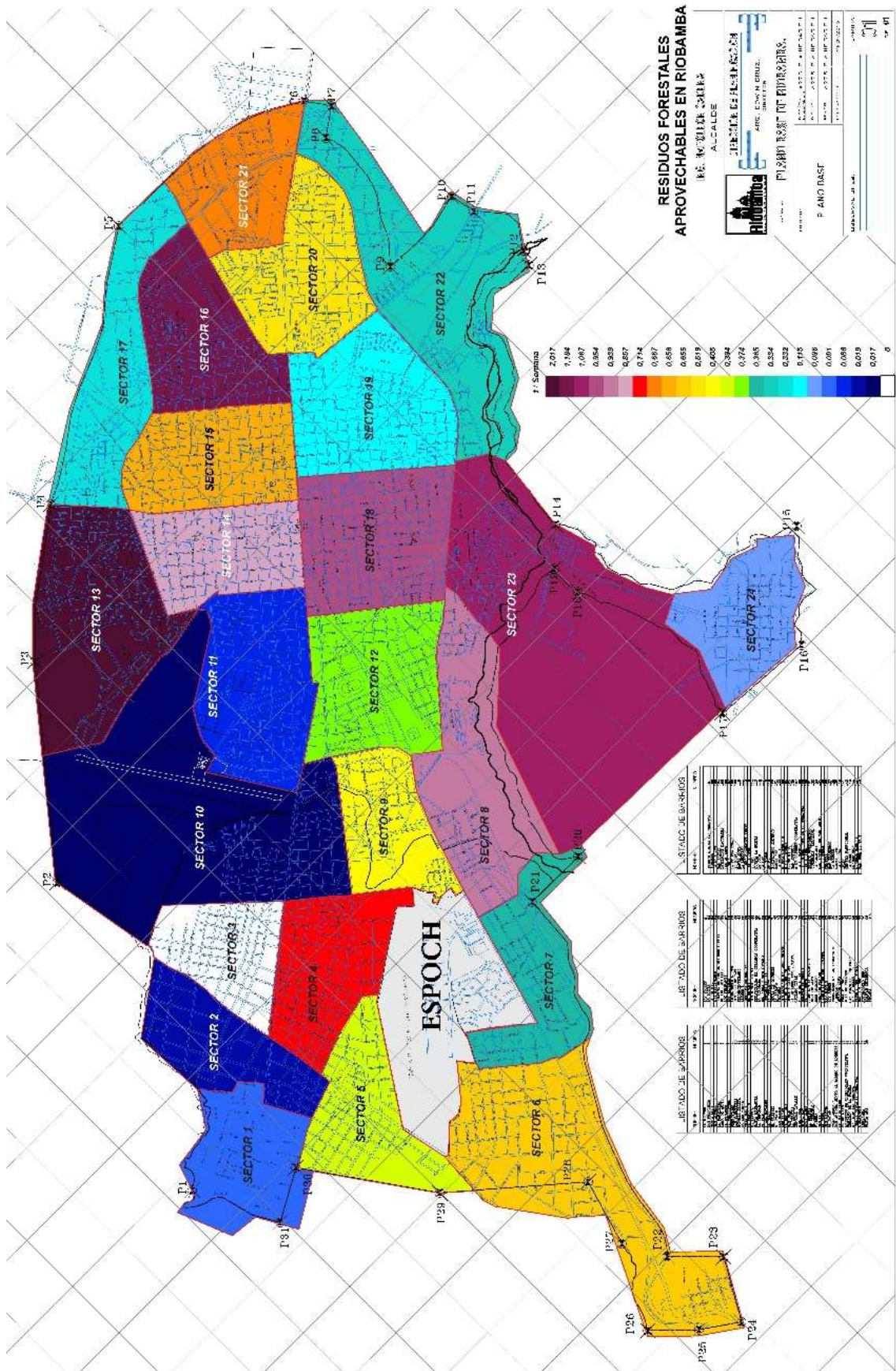


Figura 3.19. Residuos forestales de la industria maderera aprovechables en Riobamba. (Fuente: Propia)

El acopio de la biomasa o residuos forestales se la debe realizar en un lugar acondicionado con cubierta para evitar la absorción de humedad por lluvia y que esté libre de posibles contaminaciones.

La operación de la planta de gasificación actualmente implementada por su tamaño y cuidados, necesita de un operador que haya recibido una inducción completa en el proceso de gasificación y pueda controlar los parámetros de funcionamiento. El material de filtrado debe ser cambiado según los parámetros de diseño señalados anteriormente. El consumo eléctrico del ventilador es estimado con la tarifa actual de 0,0933\$/kWh (Agencia de Regulación y control de la electricidad ARCONEL, 2017). El primer análisis se lo realiza para el consumo de gas generado en uso térmico lo cual se detalla en la Tabla 3.31 y 3.32.

Tabla 3.30. Costo por transporte de residuos forestales.

SECTOR	TOTAL [t/semana]	DISTANCIA [km]	VALOR POR RECORRIDO [\$]	TIEMPO TOTAL (recorrido + carga) [h]	COSTO CHOFER [\$]	COSTO AYUDANTE [\$]	TOTAL [\$/semana]
Sector 13	2,017	5,51	3,75	2,29	11,5	7,82	23,03
Sector 16	1,184	6,31	4,29	1,50	7,50	5,11	16,90
Sector 23	1,067	3,27	2,22	1,23	6,15	4,20	12,57
Sector 18	0,954	3,6	2,45	1,13	5,67	3,87	11,98
Sector 8	0,939	1,69	1,15	1,02	5,12	3,49	9,76
Sector 14	0,857	4,51	3,07	1,08	5,41	3,69	12,17
Sector 4	0,714	1,97	1,34	0,81	4,06	2,77	8,17
Sector 21	0,667	7,01	4,77	1,02	5,09	3,47	13,32
Sector 15	0,656	5,33	3,62	0,92	4,61	3,15	11,38
Sector 6	0,655	3,24	2,20	0,82	4,09	2,79	9,07
Sector 20	0,519	6,17	4,20	0,83	4,14	2,82	11,15
Sector 9	0,405	1,51	1,03	0,48	2,40	1,64	5,07
	10,634						144,59

(Fuente: Propia)

De estos resultados se obtiene por tanto que el costo de transporte por unidad de masa de los residuos forestales es:

$$\text{Costo Transporte} = 13,60 \frac{\$}{t} = 0,0136 \frac{\$}{kg}$$

Tabla 3.31. Valores de variables para la operación del gasificador para generación energía térmica.

OPERACIÓN TERMICO 40 h		
Tela de fibra de vidrio para filtro de mangas	5*	\$/m ²
Tiempo útil Tela de fibra de vidrio	16**	h
Tarifa eléctrica	0,0933	\$/kWh
Capacidad de procesamiento de biomasa	40	kg/h
Tiempo de trabajo de la planta	40	h/semana
Biomasa procesada	1600	Kg/semana

(Fuente: Propia).

Nota: Costo comercial de la Tela de fibra de vidrio en Chimborazo*, Tiempo de acumulación de partículas en el filtro, pagina 40**

Tabla 3.32. Costo por operación de gasificador para generación energía térmica.

ITEM	CANT.	UNIDAD	COSTO [\$/h]	TIEMPO [h/semana]	TOTAL [\$/semana]
Operador	1	persona	3,45*	45	155,25
Tela de fibra de vidrio para filtros	1,94	m ²	0,61	40	24,25
Material para arranque del gasificador	40	kg/h	0,52	5	2,59
Mantenimiento					21
Consumo eléctrico Ventilador 1/2 Hp (0,933\$/kWh)	1	u	0,03	50	1,71
					204,80

(Fuente: Propia)

De estos resultados se obtiene que el costo de operación del gasificador por unidad de masa de los residuos forestales de la industria maderera para generación de energía térmica es:

$$\text{Costo Operación} = 128,00 \frac{\$}{t} = 0,128 \frac{\$}{kg}$$

El costo de generación del gas pobre con los parámetros establecidos se indica en la Tabla 3.33.

Tabla 3.33. Valores para generación de energía térmica.

GENERACION TERMICA 40 h		
Costo de Transporte de biomasa	20,70	\$/semana
Costo de operación del gasificador	204,80	\$/semana
Potencia térmica del gasificador	128,34	kW
Costo de generación para energía térmica	0,044	\$/kWh
Costo uso GLP costo Ecuador	0,008	\$/kWh
Costo uso GLP costo Internacional	0,078	\$/kWh

(Fuente: Propia)

Nota: Costo uso GLP costo Ecuador e Internacional (Global Prices, 2017)

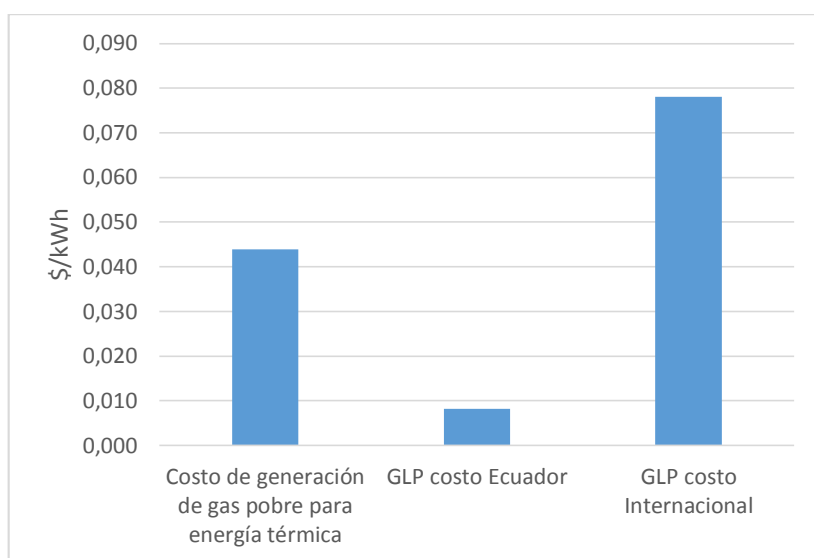


Figura 3.20. Comparativa precios entre gas pobre y GLP para energía térmica.
 (Fuente: Propia)
 Costos GLP (Global Prices, 2017)

Como se puede apreciar en la Figura 3.20 el costo de generación de gas pobre con el gasificador actual, tomando en cuenta los parámetros citados anteriormente, es favorable al compararlo con el costo del GLP solo si este tendría un precio internacional, es decir sin subsidio.

El segundo análisis se lo realiza tomando en cuenta la generación de gas pobre para uso eléctrico, se requiere de un conjunto electrógeno que consta de un motor y un generador, véase el esquema de la Figura 3.21, en este apartado se evalúa los costos de generación por tanto el costo de implementación del conjunto electrógeno será analizado más adelante en el siguiente subtema Viabilidad en la implementación de una planta piloto.

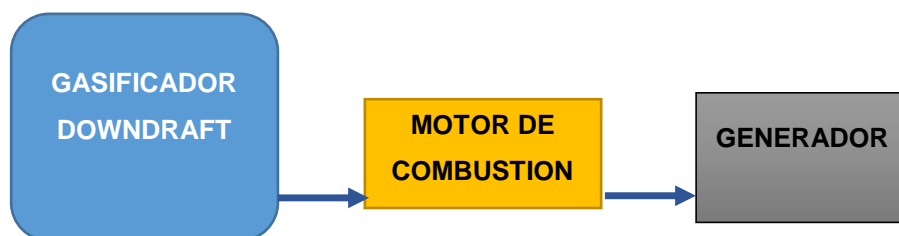


Figura 3.21. Esquema de conjunto gasificador grupo electrógeno
 (Fuente: Propia)

La Tabla 3.34 indica los valores de las variables para la operación del gasificadores como consumibles, valores de los consumibles y eficiencias de equipos. La Tabla 3.35 indica el costo de operación de generación de energía eléctrica a través de la gasificación.

Tabla 3.34. Valores de variables para la operación del gasificador para generación eléctrica.

OPERACIÓN ELECTRICICO 40 h		
Tela de fibra de vidrio	5	\$/m ²
Tiempo útil tela de fibra de vidrio	16	h
Costo eléctrico	0,093	\$/kWh
Capacidad de procesamiento de biomasa	40	kg/h
Tiempo de trabajo de la planta	40	h/semana
Biomasa procesada	1600	kg/semana
Eficiencia Grupo electrógeno	30	%

(Fuente: Propia).

Nota: Costo comercial de la Tela de fibra de vidrio en Chimborazo*, Tiempo de acumulación de partículas en el filtro, pagina 40**

Tabla 3.35. Costo por operación de gasificador para generación energía eléctrica.

ITEM	CANT.	UNIDAD	COSTO [\$ /h]	TIEMPO [h/semana]	TOTAL [\$/semana]
Operador	1	persona	3,45	45	155,25
Tela de fibra de vidrio para filtros	1,94	m ²	0,61	40	24,25
Material para arranque del gasificador	40	kg/h	0,52	5	2,59
Mantenimiento					35
Consumo eléctrico Ventilador 1/2 Hp (0,933\$/kWh)	1	u	0,03	50	1,71
					218,80

(Fuente: Propia)

De los resultados anteriormente expuestos se obtiene que el costo de operación del gasificador por unidad de masa de los residuos forestales para generación de energía eléctrica es:

$$\text{Costo Operación} = 136,75 \frac{\$}{t} = 0,1368 \frac{\$}{kg}$$

El costo de generación del gas pobre con los parámetros establecidos se indica en la Tabla 3.36:

Tabla 3.36. Valores para generación de energía eléctrica.

GENERACION ELECTRICICA 40 h		
Costo de Transporte de biomasa	20,70	\$/semana
Costo de operación del gasificador	218,80	\$/semana
Potencia térmica del gasificador	128,34	kW
Potencia eléctrica del gasificador	38,502	kW
Costo de generación	0,156	\$/kWh
Costo Energía eléctrica Ecuador	0,093*	\$/kWh

(Fuente: Propia)

Nota: (Agencia de Regulación y control de la electricidad ARCONEL, 2017)*

Como se pudo observar, tanto para la generación de energía térmica como para la eléctrica se plantea un tiempo de operación semanal de la planta de 40 horas, lo que significaría 8 horas en 5 días en horarios matutino y/o vespertino; en el caso del uso térmico es un tiempo adecuado que podría ser invertido en el uso de cocción de alimentos y calentamiento de agua sanitaria. Pero para el uso eléctrico este tiempo podría ser extendido a un funcionamiento permanente llegando a las 120 horas semanales, lo que significaría 24 horas en 5 días; los usos podrían ser en la mañana y tarde para el abastecimiento de luz e implementos de oficina y en la noche podría destinarse exclusivamente a iluminación. Esta operación extendida genera una pequeña disminución en costo de la misma, tal como se puede apreciar en la Tabla.3.37.

Tabla 3.37. Costo de generación de energía eléctrica funcionamiento continuo 120 horas.

GENERACION ELECTRICA FUNCIONAMIENTO CONTINUO 120 horas semanales, 4800 kg biomasa		
Costo de Transporte de biomasa	62,09	\$/semana
Costo de operación del gasificador	581,38	\$/semana
Potencia térmica del gasificador	128,34	kW
Potencia eléctrica del gasificador	38,502	kW
Costo de generación	0,139	\$/kWh
Costo Energía eléctrica Ecuador	0,093	\$/kWh

(Fuente: Propia)

El costo de generación para fines eléctricos baja de 15,6 a 13,9 ctv\$/kWh en funcionamiento continuo. Sin embargo, a pesar de esta reducción, el costo de generación es aún mayor al costo de consumo eléctrico planillado en el Ecuador que es 9,3 ctv\$/kWh. Ver Figura 3.23.

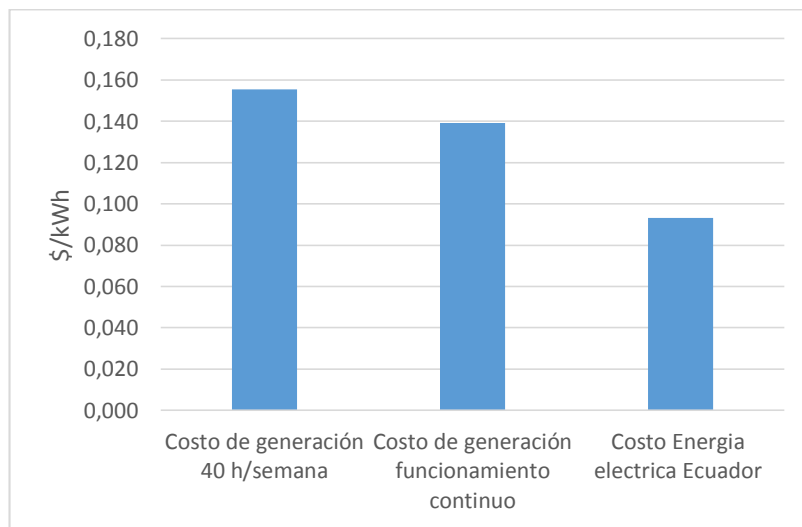


Figura 3.22. Precios comparativos entre el costo de generación eléctrica.

(Fuente: Propia).

Costo Energía eléctrica: (Agencia de Regulación y control de la electricidad ARCONEL, 2017)

La biomasa como recurso energético representa una huella de carbón neutro. Al ser utilizada como una alternativa a las energías convencionales, en este caso el GLP y la energía eléctrica, presenta una cantidad de carbono no emanado al medio ambiente. A esto se le conoce como bonos de carbono los mismos que en la actualidad representan un mercado que está siendo practicado por varios proyectos a nivel nacional. Un bono de carbono representa una licencia para la emisión de una tonelada de CO₂ (tCO₂) o, de ser otros gases de efecto invernadero, una tonelada equivalente del mismo (teqCO₂).

La comercialización de estos bonos se los realiza por medio de diferentes mecanismos en un entorno conocido como Mercado de carbono, como en todo mercado existe una oferta y una demanda libre que establecerá los costos. En el Ecuador los proyectos que favorecen a la matriz energética y están vinculados con este mercado como mecanismos de desarrollo limpio (MDL) son de tipo hidroeléctricos, tratamiento de desechos, recuperación de gas y eficiencia energética mayoritariamente cuyos costo promedio de bono de carbono es de 13,03 \$/tCO₂. (Gallegos Garzón, 2012)

En este sentido se puede calcular la cantidad de dióxido de carbono que se podría evitar emitir al ambiente con el uso del gasificador actual para generación térmica y generación eléctrica como se presenta en la Tabla 3.38.

Tabla 3.38. Factores de emisión de carbono por fuente de energía.

FACTORES	
2,94	kg CO ₂ /kg GLP
0,271	kg CO ₂ /kW h electric

Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2016)

En la Tabla 3.39 se indica el valor económico por la venta de los bonos de carbono en los tres casos de generación de energía a través de la gasificación.

Tabla 3.39. Cálculo de bonos de carbono en gasificación actual.

GENERACION	Equivalencia en consumo de GLP [kg GLP/semana]	Equivalencia en consumo eléctrico [kWh/semana]	Emisión de carbono ahorrado [tCO ₂ /semana]	Ingreso por venta bono de carbono [\$/semana]
Energía térmica 40 horas	395,81		1,16	15,16
Energía eléctrica 40 horas		1540,08	0,42	5,44
Energía eléctrica funcionamiento continuo		4620,24	1,25	16,31

(Fuente: Propia)

Como se puede observar el valor de ingresos por la venta de bonos de carbono a esta escala de generación térmica o eléctrica son pequeños, lo cual no influenciaría mayoritariamente en el costo del kWh generado en cualquiera de los casos. En la Tabla 3.40 se indica la disminución en costos de generación y para poder apreciar de mejor manera véase la Figura 3.23.

Tabla 3.40. Cálculo de disminución de costos de generación con bonos de carbono.

	Sin bono de CO2 [\$/kWh]	Con bono de CO2 [\$/kWh]	Disminución de costos de generación [%]
Energía térmica 40 horas	0,044	0,041	6,72
Energía eléctrica 40 horas	0,156	0,152	2,27
Energía eléctrica funcionamiento continuo	0,139	0,136	2,54

(Fuente Propia)

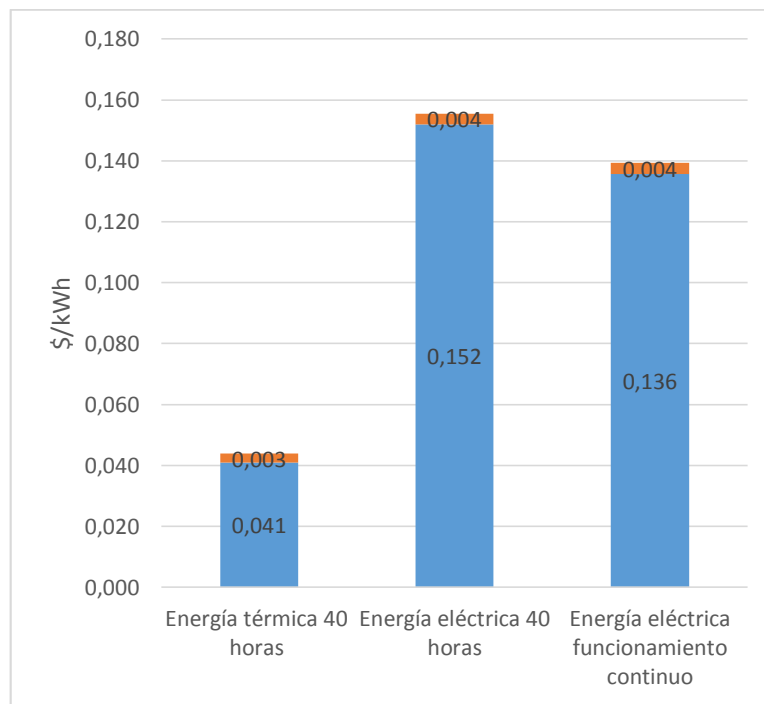


Figura 3.23. Ahorro de costos de generación con bonos de carbono. (Fuente Propia)

Al vender los bonos de carbono la forma de generación que se vería beneficiada de mejor manera es para uso térmico con una reducción de costos del 6,72%, esto se debe a que el factor de emisión por la quema de GLP es más alto que aquel generado por las fuentes eléctricas en nuestro país.

Finalmente si la generación eléctrica se destina a la venta a entidades del estado, los precios de pago por producción de centrales no convencionales son los que se muestran en la Tabla 3.41:

Tabla 3.41. Precios de energía eléctrica producida con Recursos Energéticos No Convencionales.

CENTRALES	PRECIO [ctv\$/kWh]
Eólicas	9,39
Fotovoltaicas	52,04
Biomasa y biogas	9,67
Geotérmicas	9,28
Pequeñas centrales hidroeléctricas de hasta 5MW	5,80
Pequeñas centrales hidroeléctricas de 5MW a 10MW	5,00

Fuente: (Regulación CONELEC – 009/06)

El costo de venta correspondiente de la energía eléctrica para el caso de estudio con el gasificador actual sería de 9,67 ctv\$/kWh, frente a un costo de generación calculado 13,60 ctv\$/kWh en el mejor de los casos. Claramente se nota que el costo de generación es 3,93 ctv\$/kWh (40,64 %) más alto que el costo de venta.

3.2.3. Viabilidad en la implementación de una planta piloto

Para evaluar la implementación de una planta piloto, el punto de partida es la cantidad de recurso biomásico forestal se encuentra disponible, esto determinará la potencia de generación de la misma. Según la Tabla 3.16 página 78, se tiene la cantidad de biomasa forestal total para uso energético y también el valor energético que representa considerando los distintos tipos y su humedad. En la experimentación se obtiene los valores de eficiencia en frío del gasificador downdraft, mismo que se encuentra cercano al valor teórico de trabajos similares como se observa en la Tabla 3.28 página 87.

Teniendo en cuenta estos parámetros, y el equipo de gasificación existente en la Tabla 3.42 se indican de manera resumida todos los valores.

Tabla 3.42. Condiciones de la Planta de implementación.

PLANTA DE IMPLEMENTACION		
Biomasa total	10,634	t/semana
Energía disponible de biomasa	39,34	MWh/semana
Eficiencia en frio	72,82	%
Tipo de funcionamiento continuo	168	h/semana
Potencia térmica de la planta	128,34	kW

(Fuente Propia)

Este valor de potencia térmica de la planta 128,34 kW (0,128 MW), Tabla 3.26 página 86, indica que la escala de la planta es pequeña, por lo que hablar de la utilización de turbinas a vapor en un ciclo Rankine o a gas en un ciclo Brayton simple o con cogeneración resulta poco viable por los costos de implementación de este tipo de centrales, esquema de la Figura 3.25. Estas plantas generalmente son destinadas al procesamiento de 1,3 MW en adelante, como se indica en la Tabla 3.43 (Cadena, Mora,

& Pérez, 2012). En la actualidad la planta instalada en la ESPOCH sirve para fines investigativos y didácticos que ayudan al desarrollo y evaluación local de energías renovables.

Tabla 3.43. Máximas potencias Instaladas.

TASA DE RECUPERACION DE GAS	TECNOLOGIA UTILIZADA	POT. MAX. INSTALADA [MW]
Baja	MCI	1,34
	Ciclo combinado	1,34
	Microturbina	1,12
Media	MCI	1,61
	Ciclo combinado	1,61
	Microturbina	1,34
Alta	MCI	2,15
	Ciclo combinado	2,15
	Microturbina	1,79

Fuente: (Cadena, Mora, & Pérez, 2012)

De lo mostrado anteriormente la opción, por lo tanto es la Gasificación de biomasa y grupo electrógeno (motor de combustión interna de gas y generador). El costo de implantación de una planta de generación con grupo electrógeno es en promedio de 2000 \$/kW. (Cadena, Mora, & Pérez, 2012). Considerando la energía producida estimada para la planta de 166, 21 kW el costo de implementación sería.

$$Costo_{implementacion} = 332420 \$$$

Al tomar en cuenta el costo de generación calculado anteriormente de 13,60 ctv\$/kWh y el reciente cálculo del costo de implementación se identifica que la tecnología de generación a la escala planteada del estudio es aún muy costosa para nuestro medio. Además de la desventaja del costo de venta de generación de energía eléctrica que no es económicamente rentable pues no hay un porcentaje de ganancia.

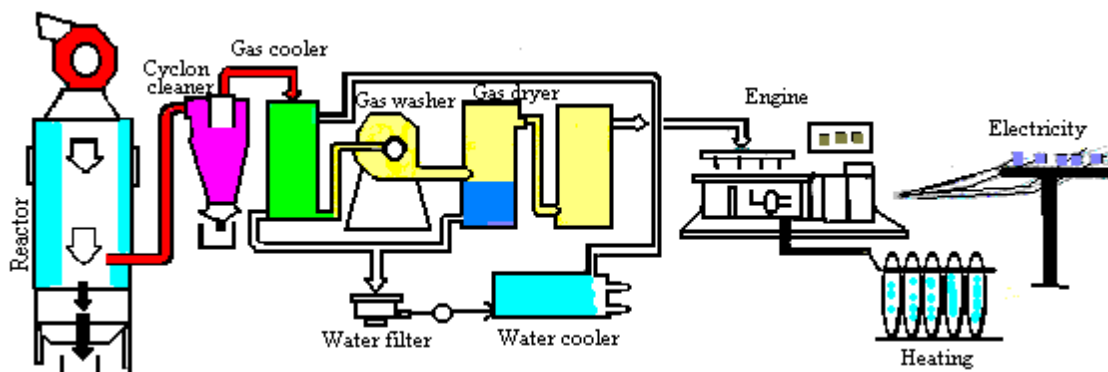


Figura 3.24. Esquema de sistema de generación con grupo electrógeno. (Fuente: Propia)

En la Tabla 3.44 se presenta un análisis FODA para la implementación de la planta piloto de gasificación para el caso de estudio.

Tabla 3.44. Análisis FODA.

FORTALEZAS	DEBILIDADES
Recurso para acopio gestionable de buenas características, 47% aserrín, 23% viruta, 18% madera trozada.	Costos de generación superiores al costo de venta en el mercado energético actual.
Disponibilidad del equipo de gasificación con un sistema de acondicionamiento de gas.	Disponibilidad limitada al comercio de sector maderero.
Gas pobre producido de características optimas en comparación a los estudios similares.	Costos operativos de transporte de la biomasa representan el 10% del valor total de generación.
Generación de empleo directo e indirecto.	Necesidad de inversión en tecnología costosa actualmente.
Energía limpia con emisiones neutras de carbono.	
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
Optimización de recursos biomásicos residuales de la industria maderera sin usos finales en la cadena industria.	Incentivos a la utilización del GLP manteniendo el subsidio actual.
Posibilidad de desarrollo de nueva tecnología en el medio nacional, con la finalidad de mejorar costos de generación eléctrica y térmica por medio de gasificación.	Desconocimiento y falta de apoyo institucional para el desarrollo.
Contribución a la soberanía y seguridad energética.	Utilización de la biomasa en otro tipo de industria como materia prima.
Posibilidad de estudios en otras localidades ecuatorianas	

(Fuente Propia)

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- En el cantón Riobamba, casi la totalidad la industria maderera se realiza en la periferia urbana y no en la rural, llegando a ser el 99,5% de participación de las parroquias urbanas. Esto facilita la posibilidad de acopio de la biomasa residual de dicha industria dado que al movilizarse dentro de la ciudad se cuenta con líneas de fácil acceso, además de una distancia de recorrido relativamente corta en comparación si fuese en las zonas rurales. Por otro lado la generación de empleo por la operación de una planta de gasificación se estaría ampliando en la urbe y no en lo rural.
- La cantidad de materia prima de madera procesada en cada sector no guarda una relación directa con la cantidad de generación de residuos biomásicos de esta industria disponibles para uso energético, como por ejemplo en el sector 21 página 74. Esto se debe a que en general los establecimientos industrializados aprovechan al máximo sus recursos, de tal manera que los residuos tienen previsto un determinado fin comercial o industrial, por tanto no se los puede usar para usos energéticos. Por otro lado los establecimientos de escalas menores no contemplan con certeza un plan de uso final de los residuos y son los mayores aportantes de biomasa forestal residual para fines energéticos. Los sectores de mayor incidencia en residuos forestales de industria maderera disponible son 13, 16, 23, 18, 8, 14, 4, 21, 15, 6, 20, y 9; los doce sectores en conjunto representan el 80,8%. El sector rural tiene una incidencia muy baja en biomasa forestal disponible con solo el 2,3% de la cantidad total que es 13,16 toneladas.
- La biomasa forestal residual de industria maderera disponible para fines energéticos se contempla a través de la donación de los propietarios de los establecimientos, son recursos que no tienen un uso final específico y tampoco altera la dinámica económica de los establecimientos. Los diversos usos que tiene dicha biomasa en los distintos sectores contemplan la venta, desecho, quema, regala, abono y usos varios. En el caso de estudio a través de las encuestas se detectó que todo aquello que es desechado representa el 19%, es decir 11,6 t, este valor es casi coincidente con el recurso biomásico disponible para fines energéticos (10,61 t) y tiene su conjetura ya que como se mencionó anteriormente, la biomasa disponible para energía se obtiene del acopio de las donaciones.
- La etapa experimental provee de las características y parámetros reales tanto del gas pobre producido por gasificación downdraft. Los datos más relevantes

de esta sección son el análisis cromatográfico del gas el cual presenta un poder calorífico de 5,198MJ/kg y a su vez este conlleva a la determinación de la eficiencia en frío del gasificador que es 72,28%. Estos valores al compararse con estudios realizados en el año 2002, 2009 y 2010 son muy similares. Sin esta etapa el estudio se alejaría de las condiciones locales reales donde se pretende aprovechar el recurso biomásico.

- El análisis económico del proceso de gasificación revela que el costo de generación para fines térmicos 0,044\$/kWh es viable si se compara con el costo de utilización del GLP a precios internacionales 0,078\$/kWh. El costo energético del uso de GLP en el país al estar subsidiado es muy bajo 0,008\$/kWh, si bien este precio beneficia a un gran sector de la población, conlleva también a un golpe económico al estado de gran tamaño y va de la mano con la falta de uso racionalizado del mismo.
- Los usos de este gas producido pueden ser la generación térmica o la eléctrica, para la generación térmica se puede tener una planta intermitente que trabaje 40 horas semanales supliendo las necesidades de calefacción, cocción y agua caliente sanitaria. Una generación permanente térmica podría quedar subutilizada en horas de la noche y madrugada en tanto que una planta para generación eléctrica presenta características favorables para la generación continua, inclusive como muestra el análisis económico el costo de generación mejora respecto a si fuese intermitente diariamente de 0,156\$/kWh a 0,139\$/kWh. La energía generada en horario nocturno y de madrugada quedaría destinado a la iluminación.
- Las plantas de generación de biomasa dedican su trabajo a la conversión de dicha energía en forma eléctrica. Para procesos de eficiencias totales mejoradas como una gasificación integrada de ciclo combinado, es decir cogeneración, es necesario contar con potencias a procesar por encima de 1,5 MW y los costos de instalación superan los 3000 \$/kW instalado. Si el panorama no está en esta magnitud, como en el caso de estudio $E_{Disp} = 39,34 \text{ MWh/semana}$ que equivale a una planta de funcionamiento continuo de 0,23 MW; la mejor opción es un grupo electrógeno, cuya eficiencia global dependerá en gran medida del motor de combustión, ya que el gasificador en óptimas condiciones rodea el 75%, pero el costo de implementación estará acorde al tamaño de la planta que es 2000 \$/kW en promedio.

4.2. Recomendaciones

- El proceso de censo para el levantamiento de información, requiere de un protocolo previamente establecido y estrategias de diálogo entre el encuestador y el encuestado, en nuestro entorno debido a una ligera tensión socio económica por políticas gubernamentales tributarias, de 173 locales identificados 149 no proveen información. Esto genera cierto margen de error en un estudio que basa sus estimaciones en un trabajo de campo con recolección de datos. Por tanto se debe brindar una atención especial a la relación interpersonal de los personajes involucrados en esta investigación.
- Con el estudio realizado se pudo identificar y cuantificar la biomasa forestal residual de la industria maderera aprovechable en el cantón Riobamba. las encuestas realizadas no solo levantaron información específica de la biomasa sino también la cantidad y tipo de materia prima que utilizan los establecimientos, lo cual sirvió sustancialmente para determinar la masa y densidad de la madera al llevar a unidades comunes de medición a todas las especies forestales. Se debería incorporar en los futuros censos económicos a nivel nacional este tipo de indagaciones en especial en las provincias que poseen mayor actividad maderera como son Cotopaxi, Pichincha, Los Ríos, Imbabura y Santo Domingo.
- Los distintos tipos de residuos forestales de la industria maderera poseen características particulares como es la densidad y poder calorífico, es importante para el estudio que estos valores se encuentran tabulados bajo normativas internacionales. Para casos específicos, como por ejemplo un proyecto que conlleve al diseño e implementación de una planta de gasificación en un determinado lugar o industria, se recomienda que dichas características sean analizadas en el laboratorio a través de tomas de muestras de los tipos de residuos de la localidad, por temas de exactitud en los cálculos energéticos. Las propiedades y características del recurso biomásico es de vital importancia cuando de enfoque energético se trata, la variación en su composición como en su humedad determinan el poder calorífico. Valores errados en esta propiedad podrían ocasionar resultados que sobreestimen o subvaloren la realidad disponible
- En la actualidad existe un estudio de biomasa forestal para todo el país, mismo que se indica en la obra titulada Atlas bioenergético (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014). En la metodología de este Atlas detallan que las estimaciones de potenciales energéticos se basan en datos teóricos de aprovechamiento biomásicos de las especies forestales. Este parámetro teórico indica que el 70% de un árbol es biomasa, pero no todo ese porcentaje puede

ser aprovechado para energía, pues el mismo consta de ramas, raíces, corteza, aserrín, entre otros. El verdadero valor del potencial energético resulta del estudio particularizado del entorno al conocer la cantidad de materia prima, cantidad de residuos generados, usos previstos para los mismos y la cantidad desechada que no posee destino final. Se recomienda para futuros estudios en área de energías renovables, en particular de biomasa, hacer un estudio particular en el sitio y no solo realizar estimaciones con valores teóricos.

- Con los costos de generación térmica 0,044\$/kWh para la gasificación downdraft, se recomienda que las plantas industrializadas como aserraderos a gran escala consideren esta tecnología limpia como una parte de sus energéticos, si bien la ventaja económica frente a un combustible fósil a precios nacionales no es atractiva se estaría actuando de manera ética y eficiente con los recursos. Una alternativa sería promover políticas gubernamentales que alienten el uso de esta tecnología.

4.3. Trabajos futuros

- La localización actual de la planta de gasificación es en la ESPOCH, con la posibilidad de implementación de una planta piloto de una potencia de 230 kW, acorde a la disponibilidad del recursos biomásico se abre la posibilidad a un estudio de ubicación adecuado, que podría conjugar sistemas de georeferenciación y normativas municipales que regulen el uso del suelo para estas actividades.
- El sistema de gasificación downdraft provee de gas pobre que debe ser utilizado de forma inmediata sea para fines térmicos o eléctricos. Esto podría ser un inconveniente si la intermitencia de la demanda es grande, por tanto, el estudio para un sistema de envasado óptimo de este gas sería una alternativa de estudio con la que se tendría como objetivo el transporte y distribución de este gas combustible.
- En la actualidad a nivel mundial se trata de promover el uso de energías renovables, la cantidad de disponibilidad real de estas en cualquier localidad es una de las primeras consideraciones a tomar en cuenta. Estudios particulares, como el expuestos en este trabajo, son los que dan la pauta para la factibilidad de su utilización. Un proyecto a escala nacional para identificar la disponibilidad de energías renovables sería un trabajo futuro de gran impacto para las políticas energéticas y medioambientales.

Referencias bibliográficas

- [1] Agencia de Regulación y control de la electricidad ARCONEL. (agosto de 2017). *Pliego Tarifario para las empresas eléctricas*. Quito: ARCONEL. Obtenido de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/01/Pliego-y-Cargos-Tarifarios-SPEE-2017.pdf>
- [2] Agencia Nacional de Transito. (agosto de 2017). *Agencia Nacional de Transito*. Obtenido de <http://www.ant.gob.ec/index.php/component/content/article/74-tarifas/1425-tarifas-chimborazo-2016>
- [3] Basu, P. (2010). *Biomass gasification and pyrolysis: Practical Design*. Burlington: Academic Press, Elsevier.
- [4] Basu, P. (2013). *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: practical design and theory*. New York: Elsevier.
- [5] Cabrera, R., Madriñán, S., & Muñoz, D. (junio de 2012). Caracterización del gas de síntesis obtenido a partir de algaborro y bagazo de caña. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial Colombia*, 10(1), 166-173. Obtenido de <http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/articulo/viewFile/226/187>
- [6] Cadena, J., Mora, J., & Pérez, S. (2012). Análisis de viabilidad financiera de una central de generación de energía eléctrica a partir de biogás. *Scientia et Technica*, 1-7. Obtenido de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwiVir79xdbVAhVSgCYKHXSVAHwQFggzMAM&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F4271900.pdf&usg=AFQjCNFNjwogFDLI8Zgw8jBrp6sTyn4Dzg>
- [7] Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa* (Cuarta ed.). México D.F.: McGraw Hill.
- [8] Contraloría General del Estado. (agosto de 2017). *Contraloría General del Estado*. Obtenido de <http://www.contraloria.gob.ec/Informativo/SalariosManoObra>
- [9] Echeverri Londoño, C. A. (2008). Diseño de filtros de talegas. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 7(12), 18. Obtenido de <http://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/199>

- [10] Energy research Centre of the Netherlands. (2012). *ECN Phillis2*. Obtenido de <https://www.ecn.nl/phyllis2/>
- [11] FAO. (3 de mayo de 2017). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/forestry/energy/es/>
- [12] GAD provincial de Chimborazo. (28 de 07 de 2015). *GAD provincial de Chimborazo*. Obtenido de <http://www.chimborazo.gob.ec/chimborazo/?p=410>
- [13] Gallegos Garzón, M. (2012). Análisis mercado de carbono en Ecuador. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 168-184. Obtenido de <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2012/magg.html>
- [14] García Fernández, L. E. (2011). *Obtención de gas combustible a partir de la gasificación de biomasa en un reactor de lecho fijo*. (Trabajo fin de Magíster). Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/4133/1/291461.2011.pdf>
- [15] Global Prices. (mayo de 2017). *Global Prices*. Obtenido de http://www.globalpetrolprices.com/lpg_prices/
- [16] Heraz Segura , A. (2012). *Estudio de gasificación mediante un prototipo experimental para el tratamiento termoquímico de residuos orgánicos*. México: (Trabajo fin de Máster).
- [17] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la Investigación* (Quinta ed.). Mexico: McGraw Hill.
- [18] Instituto ecuatoriano de normalización INEN. (2013). *Gas licuado de petróleo. Determinación de la densidad relativa. NTE INEN 684:2013*. Quito: INEN. Obtenido de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/684-1.pdf>
- [19] Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2014). *Medición de caudal de fluidos mediante dispositivos de presión diferencial*. Quito: INEN. Obtenido de http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/NORMAS_2014/DRO/nte_inen_iso_5167_1extracto.pdf
- [20] Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2015). *Norma ecuatoriana de la construcción Cap 7: Estructuras de madera* (Primera ed.). Quito: INEN. Obtenido de http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/cpe_inen-nec-semd-

- [21] Instituto nacional de Estadísticas y Censos INEC. (7 de noviembre de 2016). *Instituto nacional de Estadísticas y Censos INEC*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/>
- [22] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE. (2007). *Biomasa Gasificación*. Madrid: IDAE. Obtenido de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_gasificacion_07_d2adcf3b.pdf
- [23] Krajnc, N. (2015). *Wood fuels handbook*. Pristina: FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i4441e.pdf>
- [24] Lesme Jaén, R., Recio Recio, Á., Preston, T., Rodríguez, L., & Oliva Ruiz, L. (septiembre de 2008). Análisis termodinámico de un gasificador ANKUR modelo WBG-10 trabajando con diferentes biomásas. *Tecnología Química, XXVIII*, 71-77. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/4455/445543757009.pdf>
- [25] López, J., & Moscoso, D. (2016). ¿Cómo está la relación entre energía y cambio climático? En J. López, & D. Moscoso, *Cambia la Energía, Cambia el Clima* (págs. 4-7). Cuenca: FAO. Obtenido de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0357.pdf>
- [26] Márquez Martínez, M. (2005). *Combustión y Quemadores*. España: Marcombo S.A. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ROxTLLeRA7NsC&oi=fnd&pg=PA9&dq=coeficiente+de+exceso+de+aire+para+combustibles+sólidos&ots=q0kK7pQNO&sig=WBkRXbmxawEWjbhuQt2LVXeg7N0M#v=onepage&q=coeficiente%20de%20exceso%20de%20aire%20para%20combustibles%20sólido>
- [27] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2016). *Balance energético nacional 2016*. Quito: MCSE. Obtenido de <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/balance-energetico/>
- [28] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2014). *Atlas Bioenergético del Ecuador*. Quito: ESIN Consultora S.A. Obtenido de <http://www.mediafire.com/file/17dz5lbnwloiea6/ATLAS+BIOENERGETICO+DE+L+ECUADOR.zip>
- [29] Ministerio del ambiente del Ecuador MAE. (2014). *Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales*. Quito: Tallpa Publicidad Impresa. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i4407s.pdf>

- [30] OLADE. (4 de mayo de 2017). *Organizacion Latinoamericana de energía*.
Obtenido de <http://www.olade.org/>
- [31] Organización de las naciones unidas para la agricultura y alimentación FAO.
(1991). *Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales*. Roma:
FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/t0269s/T0269S00.htm>
- [32] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación FAO.
(2008). *Bosques y Energía, cuestiones clave*. Roma: FAO. Obtenido de
<http://www.fao.org/3/a-i0139s.pdf>
- [33] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO.
(1993). *El gas de madera como combustible para motores*. Roma: FAO.
Obtenido de fuente: <http://www.fao.org/docrep/T0512S/T0512S00.htm>
- [34] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO.
(2008). Energía Renovable. En O. d. Alimentación, *Bosques y energía,
cuestiones clave* (págs. 6-9). Roma: FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i0139s.pdf>
- [35] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO.
(1993). *El gas de madera como combustible para motores*. Roma: FAO.
Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/T0512S/t0512s00.htm#Contents>
- [36] Organizacion Latinoamericana de Energia OLADE. (13 de mayo de 2014).
OLADE. Obtenido de <http://www.olade.org/sites/default/files/misiones/OLADE-Renovables-final.pdf>
- [37] Pratik, N., & Babu, B. (2009). Experimental studies on producer gas generation
from wood waste in a downdraft gasifer. *Elsevier*, 3127-3133. Obtenido de
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852409000480>
- [38] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century REN 21. (2016). Energía
de Biomasa. En R. 21, *Energías Renovables 2016, Reporte de la situación
mundial*. (pág. 19). Francia: REN21 Secretariat, Paris, France. Obtenido de
http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_KeyFindings_SPANISH.pdf
- [39] Serret Guasch, N., Giralt Ortega, G., & Quintero Ríos, M. (2016). Caracterización
de aserrín de diferentes maderas. *Tecnología Química*, XXXVI(3), 9. Obtenido

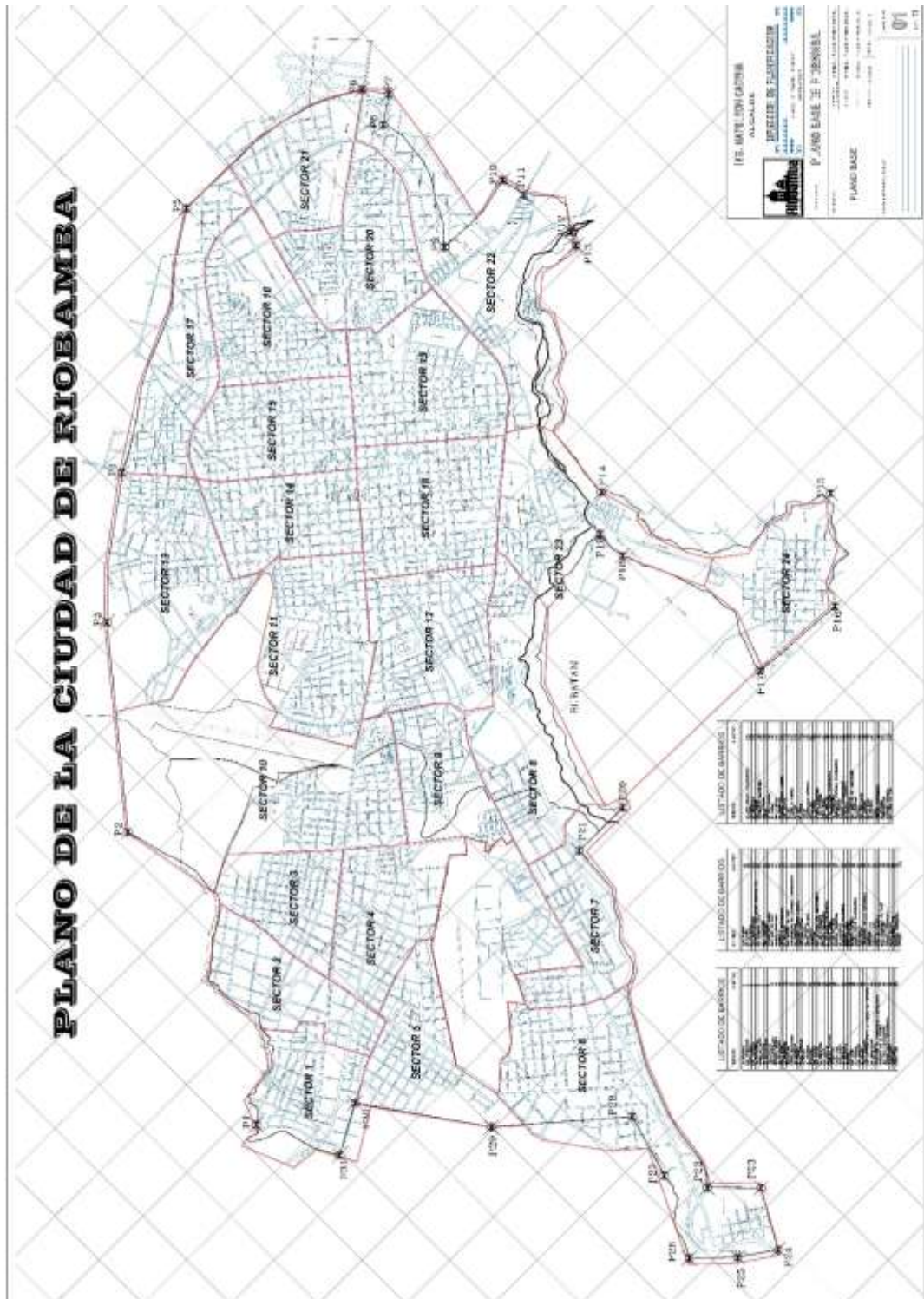
de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852016000300012

[40] Yunus, C., & Michael, B. (2011). *Termodinámica*. Mexico D.F.: Mc Graw Hill.

[41] Zainal, Z., Rifau, A., Quadir, G., & Seetharamu, K. (2002). Experimental investigation of a downdraft biomass gasifer. *Elsevier*, 7.

Anexos

Anexo 1. Mapa con sectores para caso de estudio en Riobamba



(Fuente: Propia)

Anexo 3. Modelo de encuesta



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS
DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE
INDUSTRIA MADERERA PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIORAMBA



N° de encuesta:
Sector encuestado:

Fecha:
Encuestador:

DATOS INFORMATIVOS	
NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO	
DIRECCIÓN DEL ESTABLECIMIENTO	
NOMBRE DEL PROPIETARIO	
TELÉFONO DE CONTACTO	
DIRECCIÓN DE CORREO ELECTRÓNICO	
TIPO DE ACTIVIDAD:	
DETALLAR LA ACTIVIDAD DEL LOCAL ENCUESTADO:	

DATOS TÉCNICOS

¿Qué tipo de materia prima dispone para su proceso productivo y en qué cantidad?

N°	Tipo	Semana	Unidades	Mes	Unidades	Año	Unidades
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							

Tipos de unidades:
Tablón
Tabla
Troza
Metros cúbicos [m³]

¿Qué clase de desperdicios forestales genera su proceso productivo?

N°	Clase
1	
2	
3	
4	

Especificar dimensiones de las unidades

¿Qué cantidad de desperdicios forestales genera su proceso productivo?

N°	Clase	Semana	Unidades	Mes	Unidades	Año	Unidades
1							
2							
3							
4							

Tipos de unidades:
Sacos
Metros cúbicos [m³]

¿Qué destino le da al desperdicio forestal?

N°	Clase	Destino
1		
2		
3		
4		

¿La empresa algún costo o gasto económico realiza con el desperdicio forestal?

N°	Clase	Gasto \$	Revento \$	Unidades
1				
2				
3				
4				

Notar que debe estar en función del desecho producido
Tipos de unidades:
Sacos
Metros cúbicos [m³]

¿Está dispuesto a donar sus desperdicios forestales a la ESPOCH con fines investigativos?

N°	Clase	Cantidad	Unidades
1			
2			
3			
4			

Tipos de unidades:
Sacos
Metros cúbicos [m³]

(Fuente: Propia)

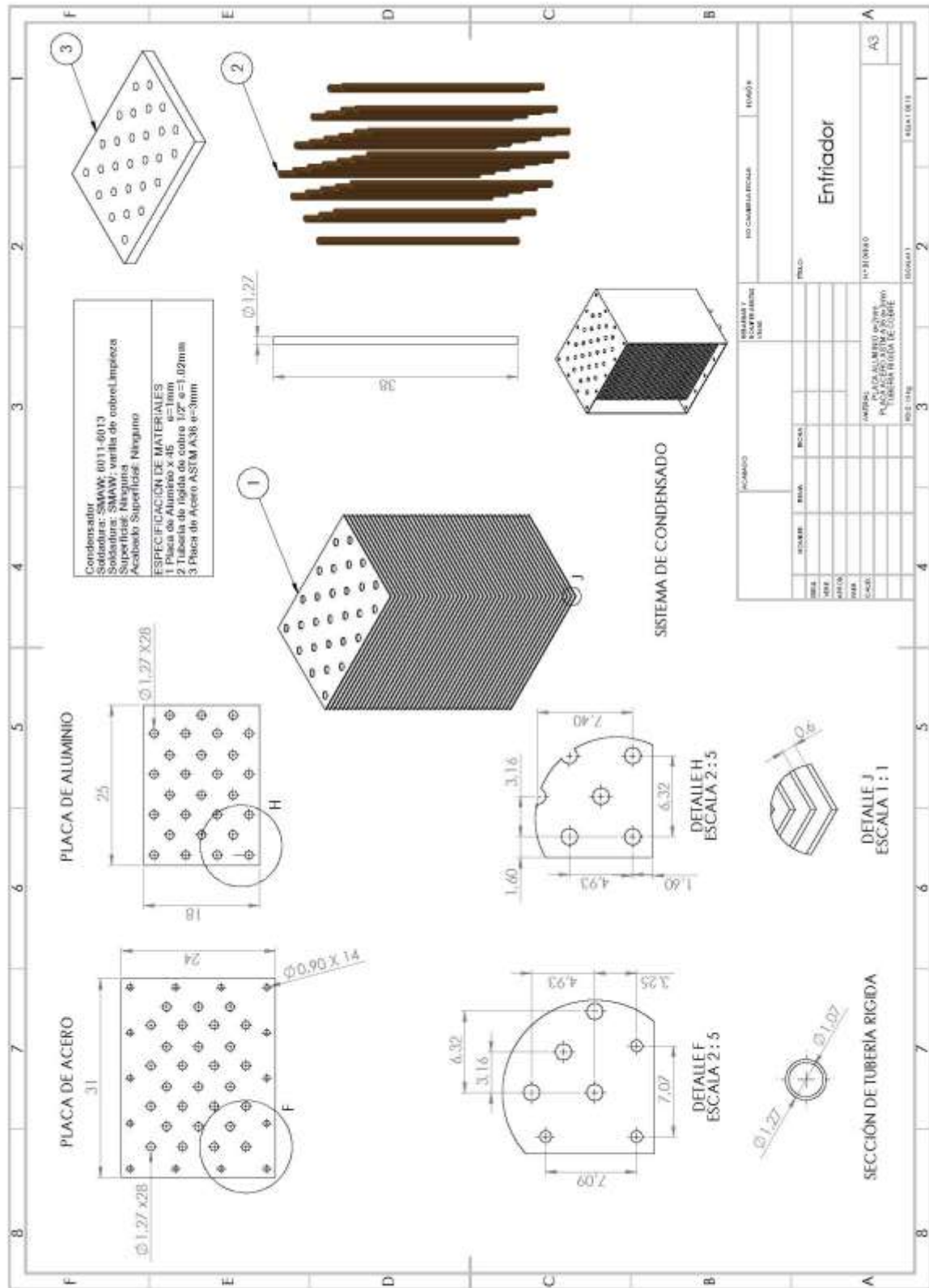
Anexo 4. Poder calorífico de la madera según la humedad

Table 14 Caloric value ($H_i = 18,5$ MJ per kg) as function of water content (M %)[3]

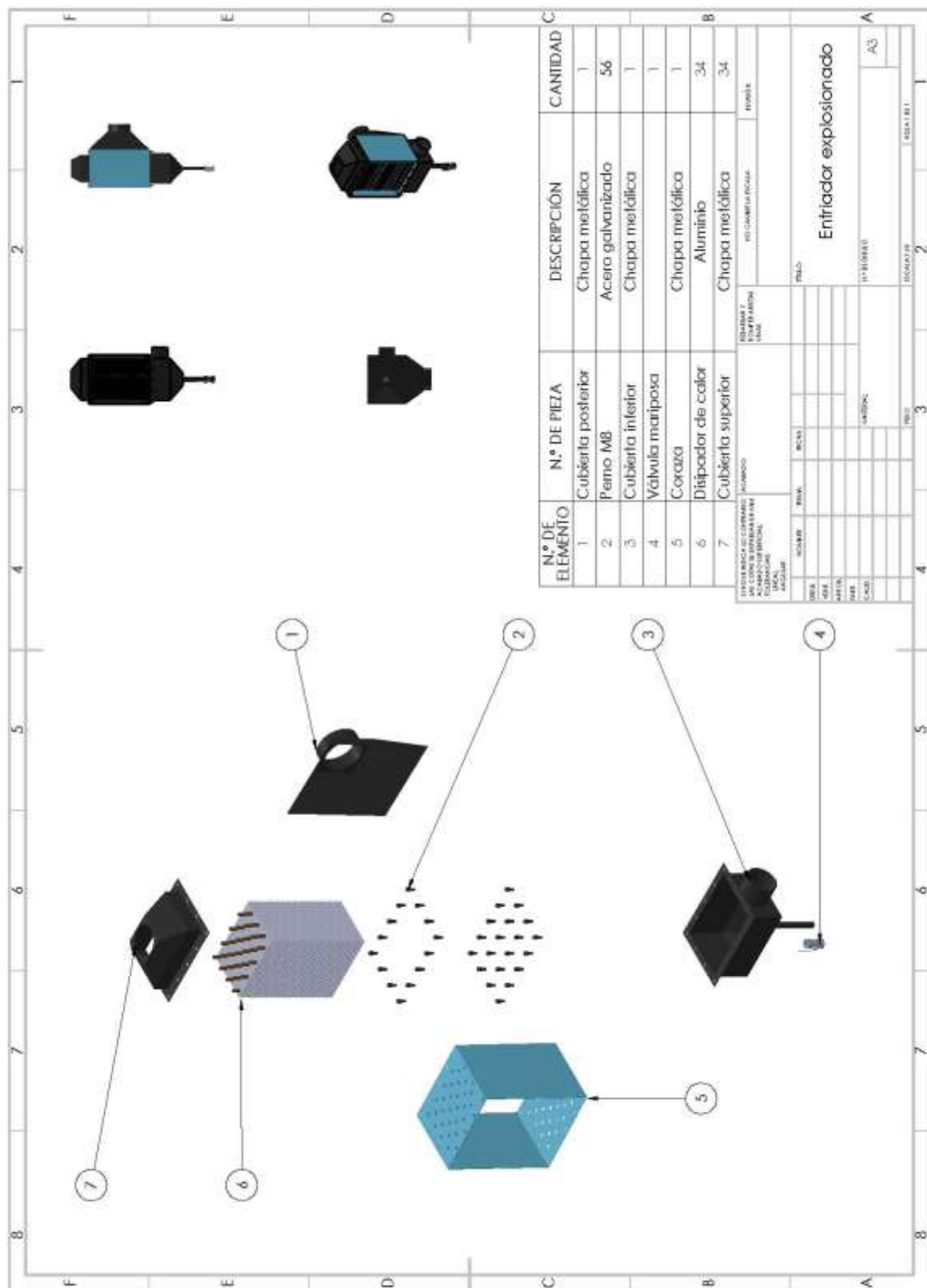
M (%)	MWh per tonne	GJ per tonne		M (%)	MWh per tonne	GJ per tonne
15	4.27	15.36		38	2.93	10.54
16	4.21	15.15		39	2.87	10.33
17	4.15	14.94		40	2.81	10.12
18	4.10	14.73		41	2.76	9.91
19	4.04	14.52		42	2.70	9.71
20	3.98	14.31		43	2.64	9.50
21	3.92	14.10		44	2.58	9.29
22	3.86	13.89		45	2.52	9.08
23	3.80	13.68		46	2.47	8.87
24	3.75	13.47		47	2.41	8.66
25	3.69	13.27		48	2.35	8.45
26	3.63	13.06		49	2.29	8.24
27	3.57	12.85		50	2.23	8.03
28	3.51	12.64		51	2.17	7.82
29	3.45	12.43		52	2.12	7.61
30	3.40	12.22		53	2.06	7.40
31	3.34	12.01		54	2.00	7.19
32	3.28	11.80		55	1.94	6.98
33	3.22	11.59		56	1.88	6.77
34	3.16	11.38		57	1.82	6.56
35	3.11	11.17		58	1.77	6.35
36	3.05	10.96		59	1.71	6.15
37	2.99	10.75		60	1.65	5.94

Fuente: (Krajnc, 2015)

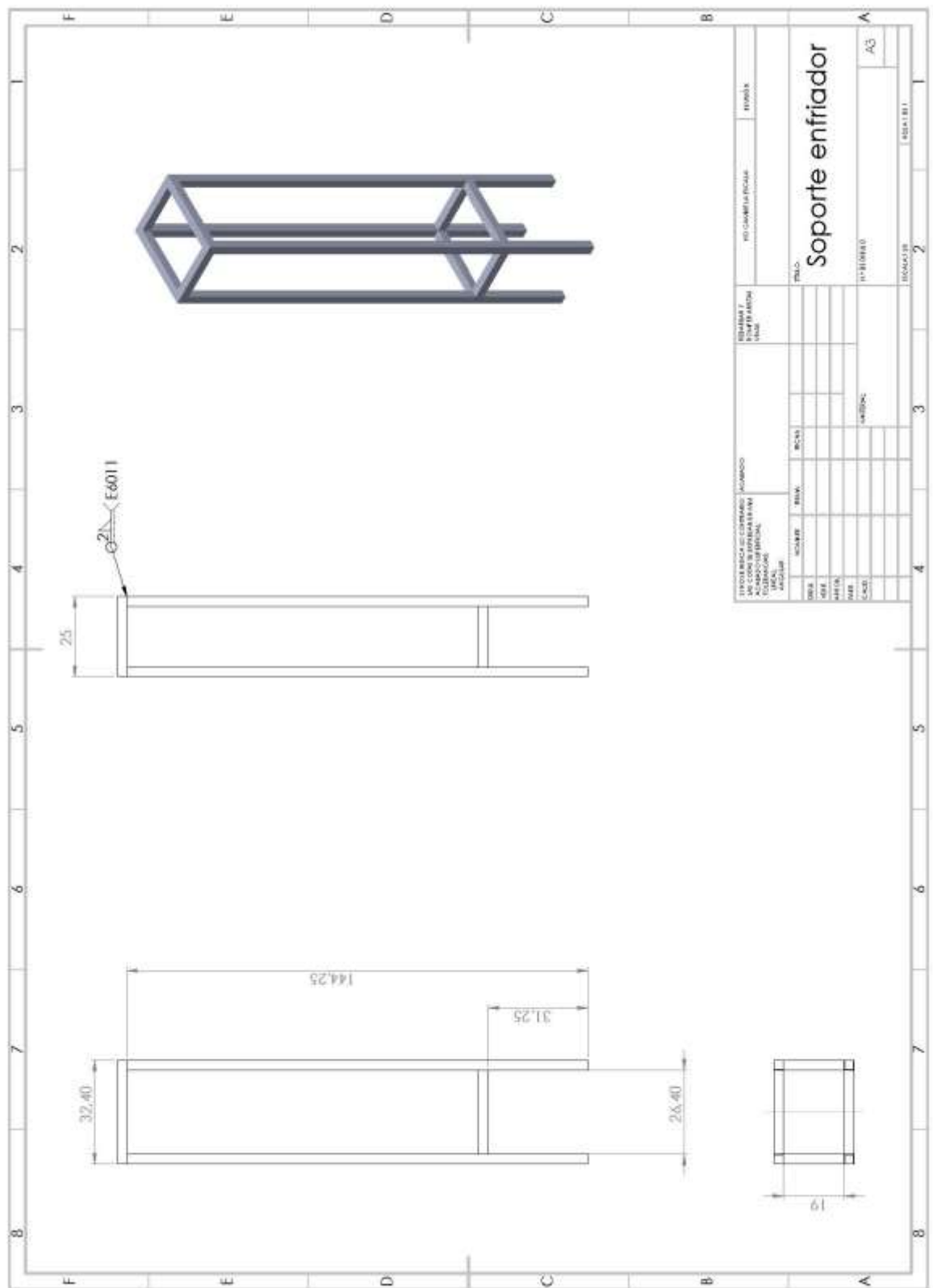
Anexo 5. Planos de enfriador de gas pobre



(Fuente: Propia)

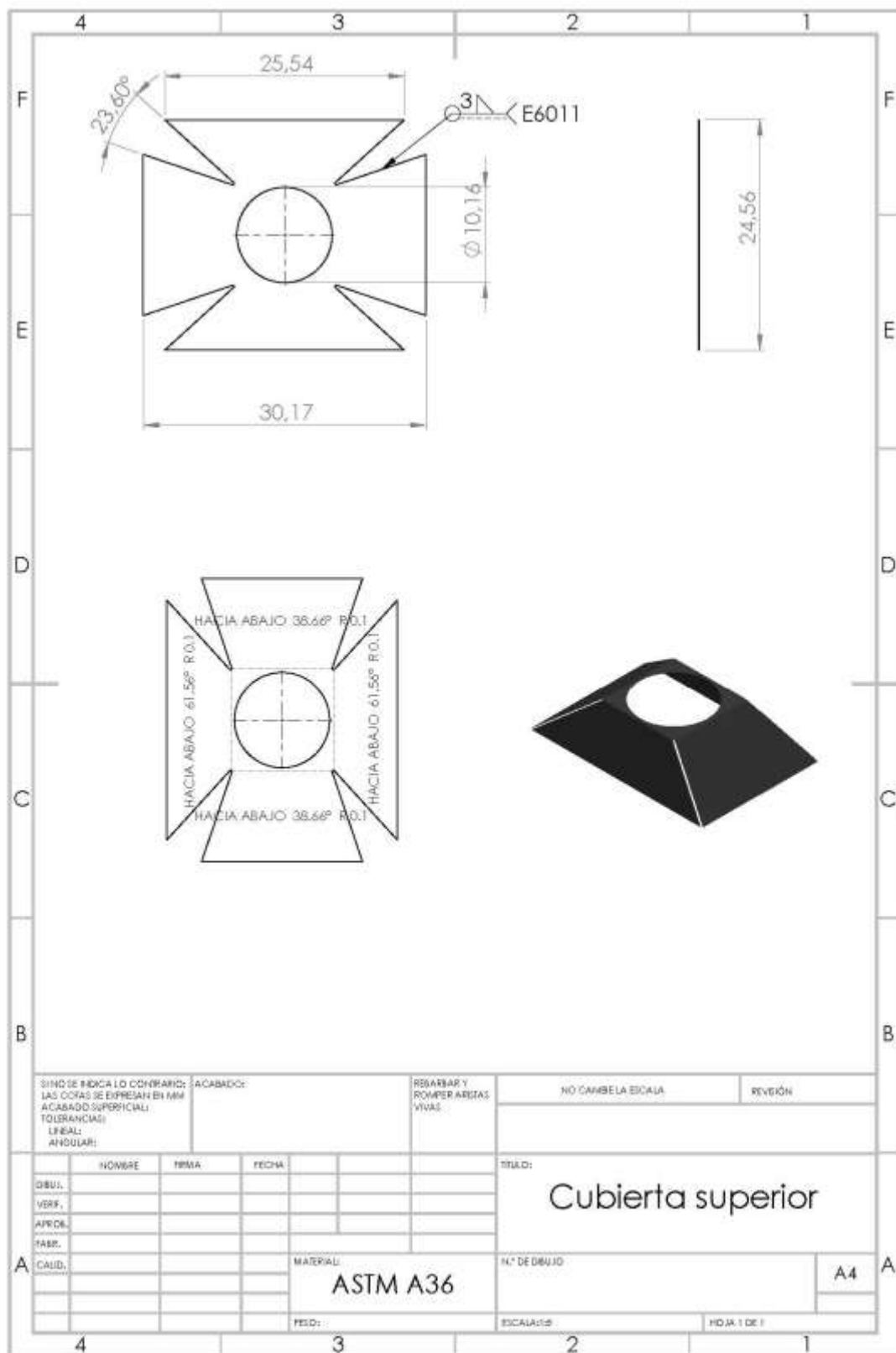


(Fuente: Propia)

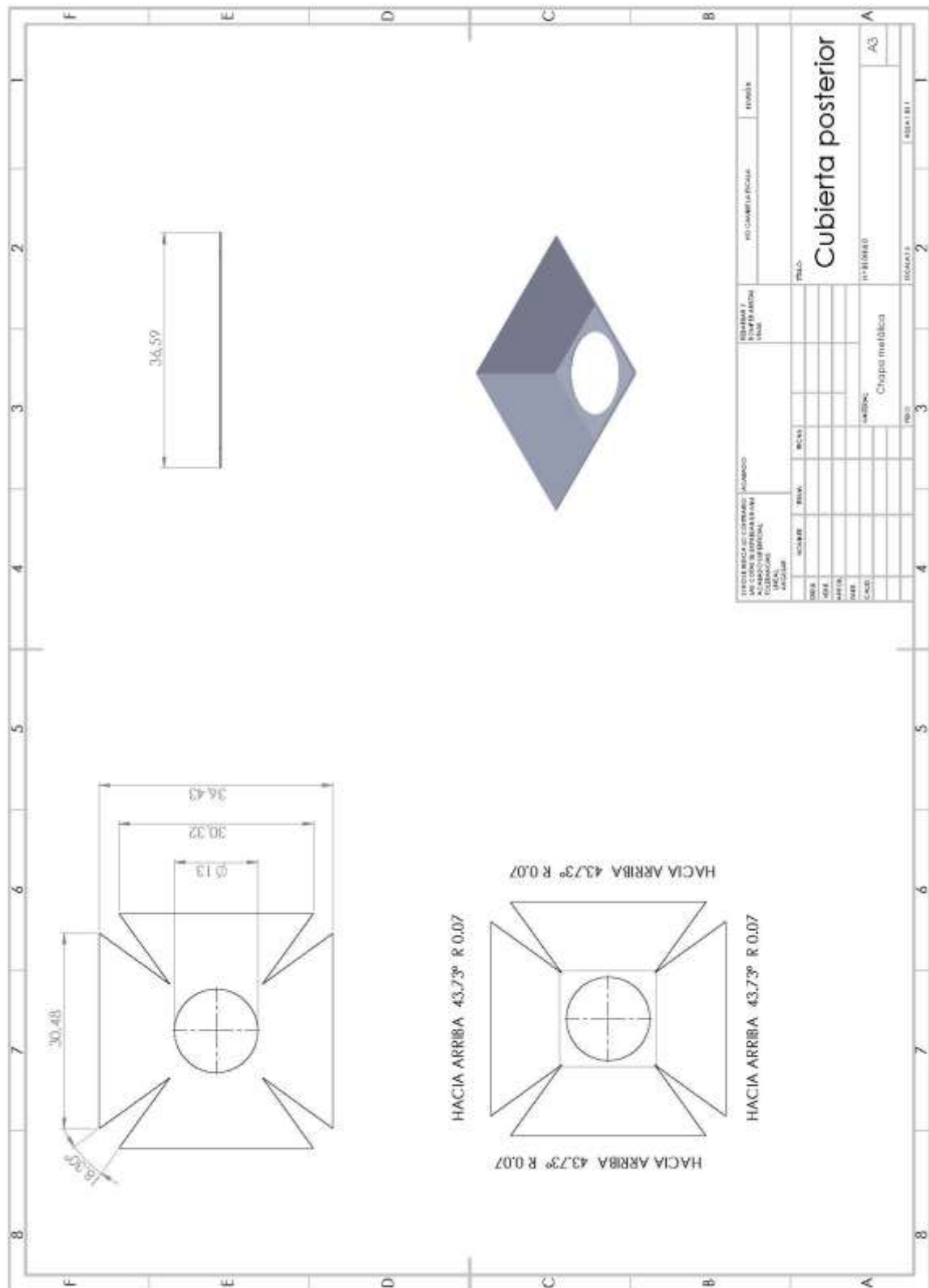


ITEM / DESCRICION / CANTIDAD / UNIDAD		DESCRIPCION / CANTIDAD / UNIDAD		DESCRIPCION / CANTIDAD / UNIDAD	
001	Soporte enfriador	1	Soporte enfriador	1	Soporte enfriador
002	...	...	...	...	...
003	...	...	...	...	...
004	...	...	...	...	...
005	...	...	...	...	...
006	...	...	...	...	...
007	...	...	...	...	...
008	...	...	...	...	...
009	...	...	...	...	...
010	...	...	...	...	...
011	...	...	...	...	...
012	...	...	...	...	...
013	...	...	...	...	...
014	...	...	...	...	...
015	...	...	...	...	...
016	...	...	...	...	...
017	...	...	...	...	...
018	...	...	...	...	...
019	...	...	...	...	...
020	...	...	...	...	...
021	...	...	...	...	...
022	...	...	...	...	...
023	...	...	...	...	...
024	...	...	...	...	...
025	...	...	...	...	...
026	...	...	...	...	...
027	...	...	...	...	...
028	...	...	...	...	...
029	...	...	...	...	...
030	...	...	...	...	...
031	...	...	...	...	...
032	...	...	...	...	...
033	...	...	...	...	...
034	...	...	...	...	...
035	...	...	...	...	...
036	...	...	...	...	...
037	...	...	...	...	...
038	...	...	...	...	...
039	...	...	...	...	...
040	...	...	...	...	...
041	...	...	...	...	...
042	...	...	...	...	...
043	...	...	...	...	...
044	...	...	...	...	...
045	...	...	...	...	...
046	...	...	...	...	...
047	...	...	...	...	...
048	...	...	...	...	...
049	...	...	...	...	...
050	...	...	...	...	...
051	...	...	...	...	...
052	...	...	...	...	...
053	...	...	...	...	...
054	...	...	...	...	...
055	...	...	...	...	...
056	...	...	...	...	...
057	...	...	...	...	...
058	...	...	...	...	...
059	...	...	...	...	...
060	...	...	...	...	...
061	...	...	...	...	...
062	...	...	...	...	...
063	...	...	...	...	...
064	...	...	...	...	...
065	...	...	...	...	...
066	...	...	...	...	...
067	...	...	...	...	...
068	...	...	...	...	...
069	...	...	...	...	...
070	...	...	...	...	...
071	...	...	...	...	...
072	...	...	...	...	...
073	...	...	...	...	...
074	...	...	...	...	...
075	...	...	...	...	...
076	...	...	...	...	...
077	...	...	...	...	...
078	...	...	...	...	...
079	...	...	...	...	...
080	...	...	...	...	...
081	...	...	...	...	...
082	...	...	...	...	...
083	...	...	...	...	...
084	...	...	...	...	...
085	...	...	...	...	...
086	...	...	...	...	...
087	...	...	...	...	...
088	...	...	...	...	...
089	...	...	...	...	...
090	...	...	...	...	...
091	...	...	...	...	...
092	...	...	...	...	...
093	...	...	...	...	...
094	...	...	...	...	...
095	...	...	...	...	...
096	...	...	...	...	...
097	...	...	...	...	...
098	...	...	...	...	...
099	...	...	...	...	...
100	...	...	...	...	...

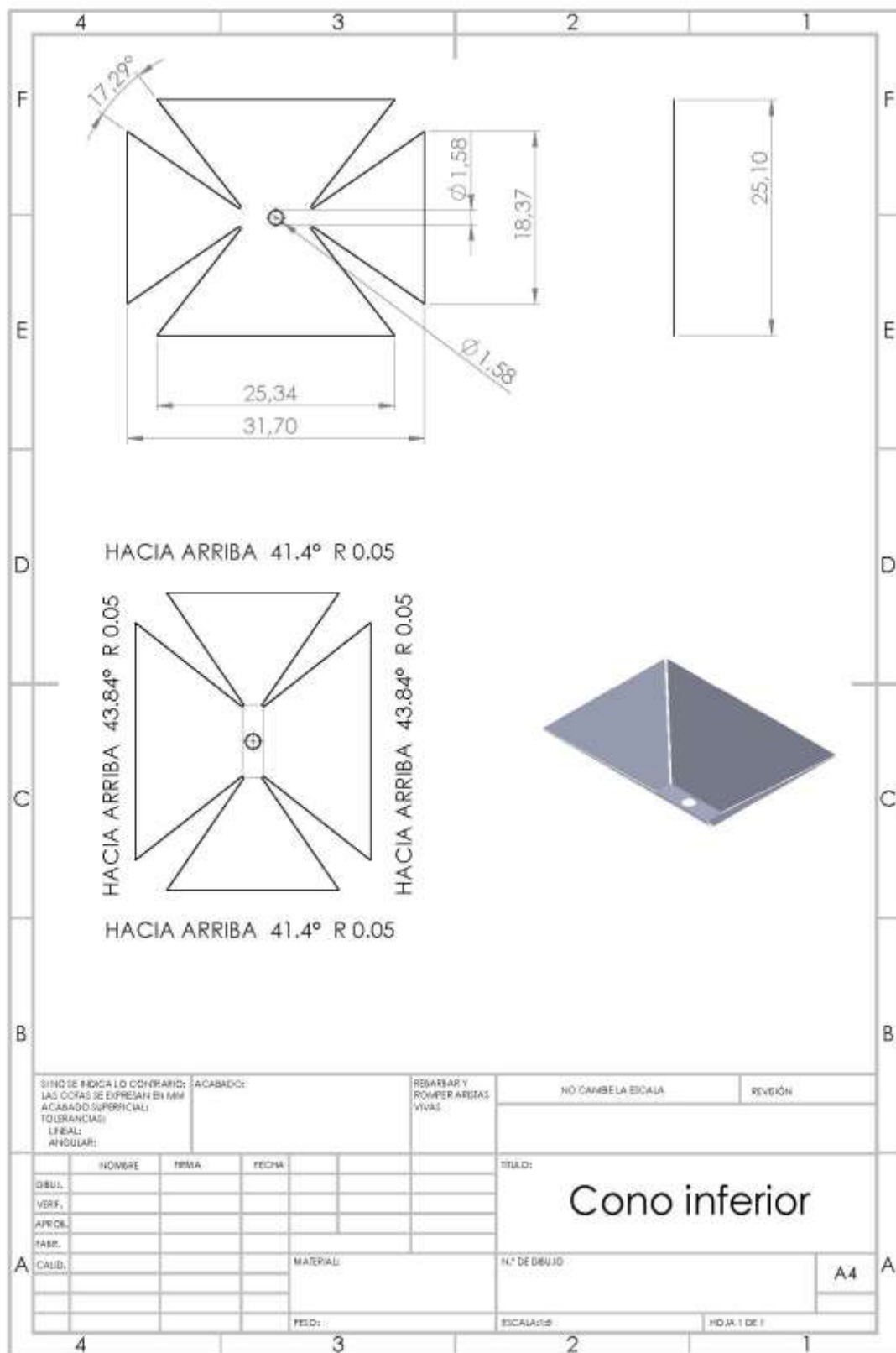
(Fuente: Propia)



(Fuente: Propia)

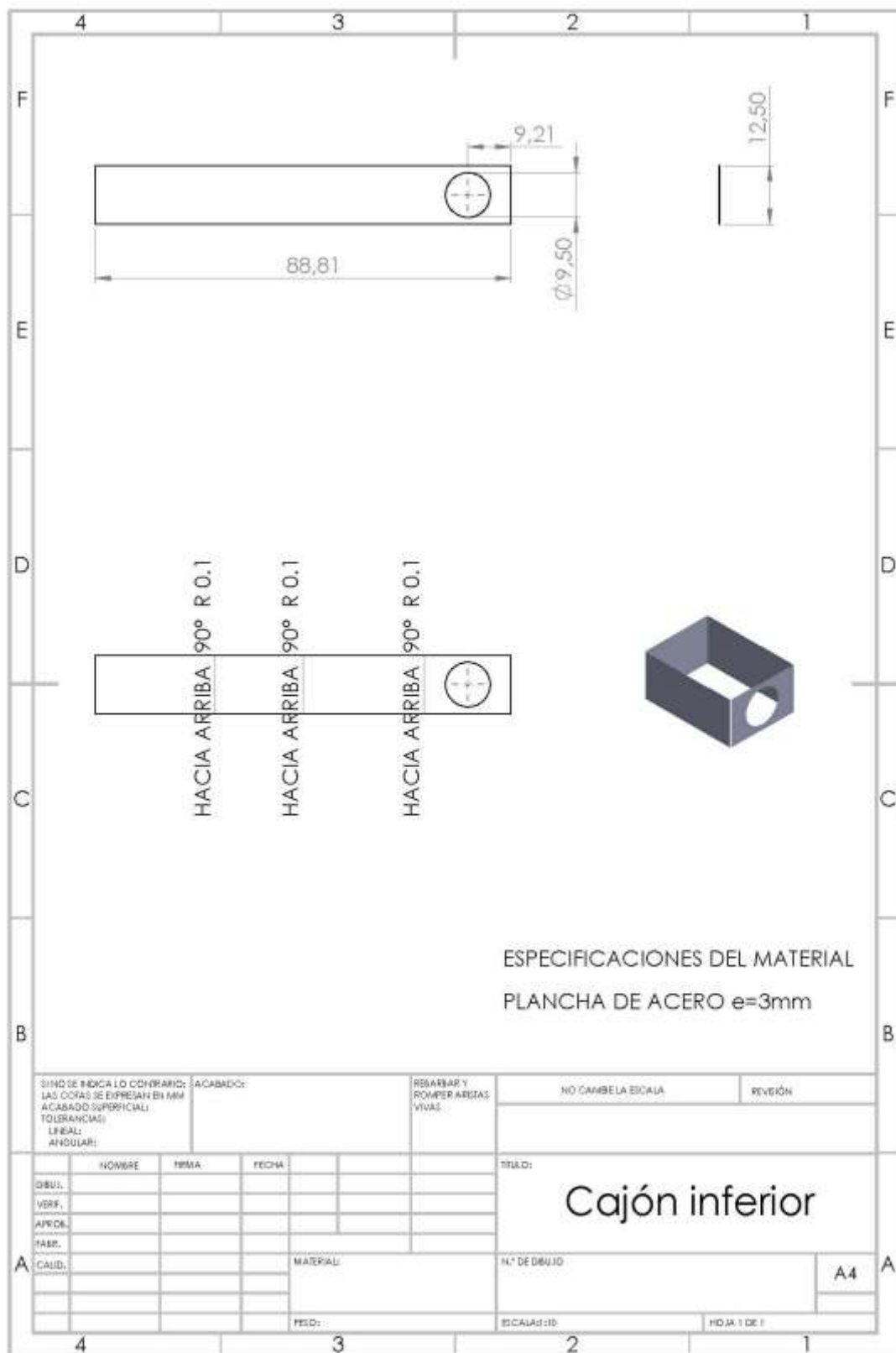


(Fuente: Propia)

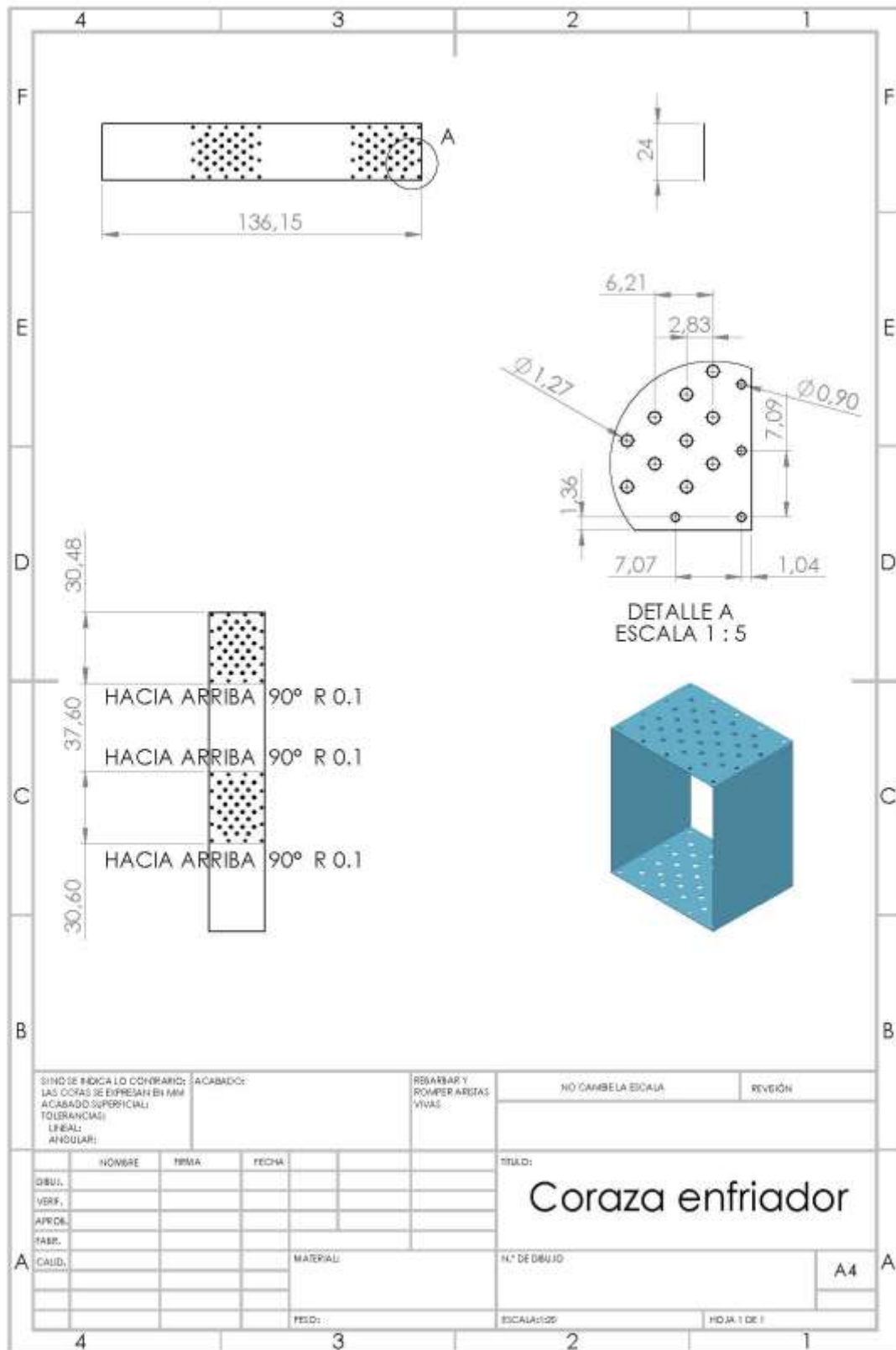


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIA LA ESCALA		REVISION
ACABADO SUPERFICIAL:		TOLERANCIAS:					
LINEAL:		ANGULAR:		TITULO: <h2 style="text-align: center;">Cono inferior</h2>			
DESU.	NOMBRE	FIRMA	FECHA				
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CAUD.	MATERIAL:			N.º DE DIBUJO:		A4	
FECH:			ESCALA: 1:1		HOJA 1 DE 1		

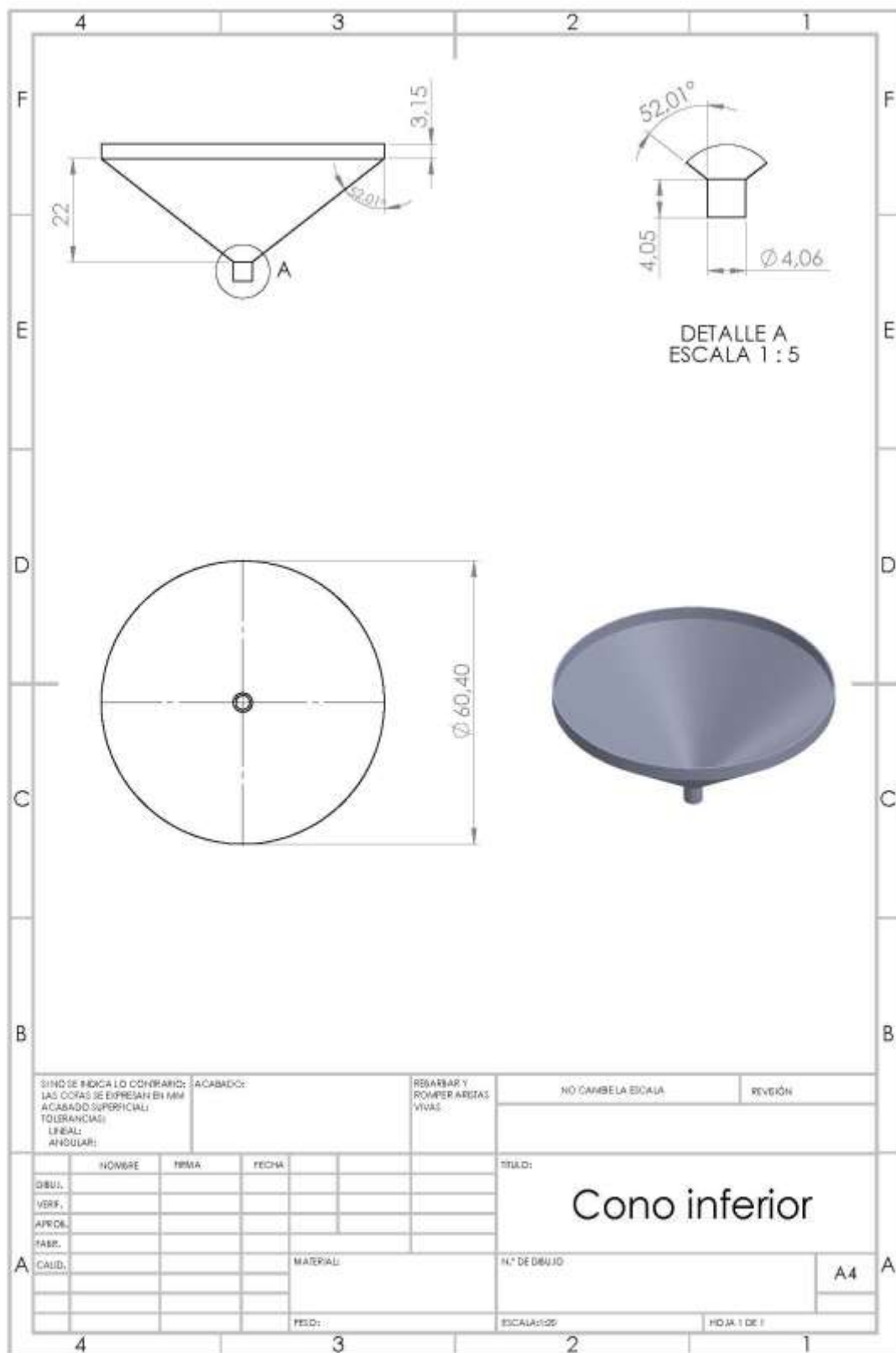
(Fuente: Propia)



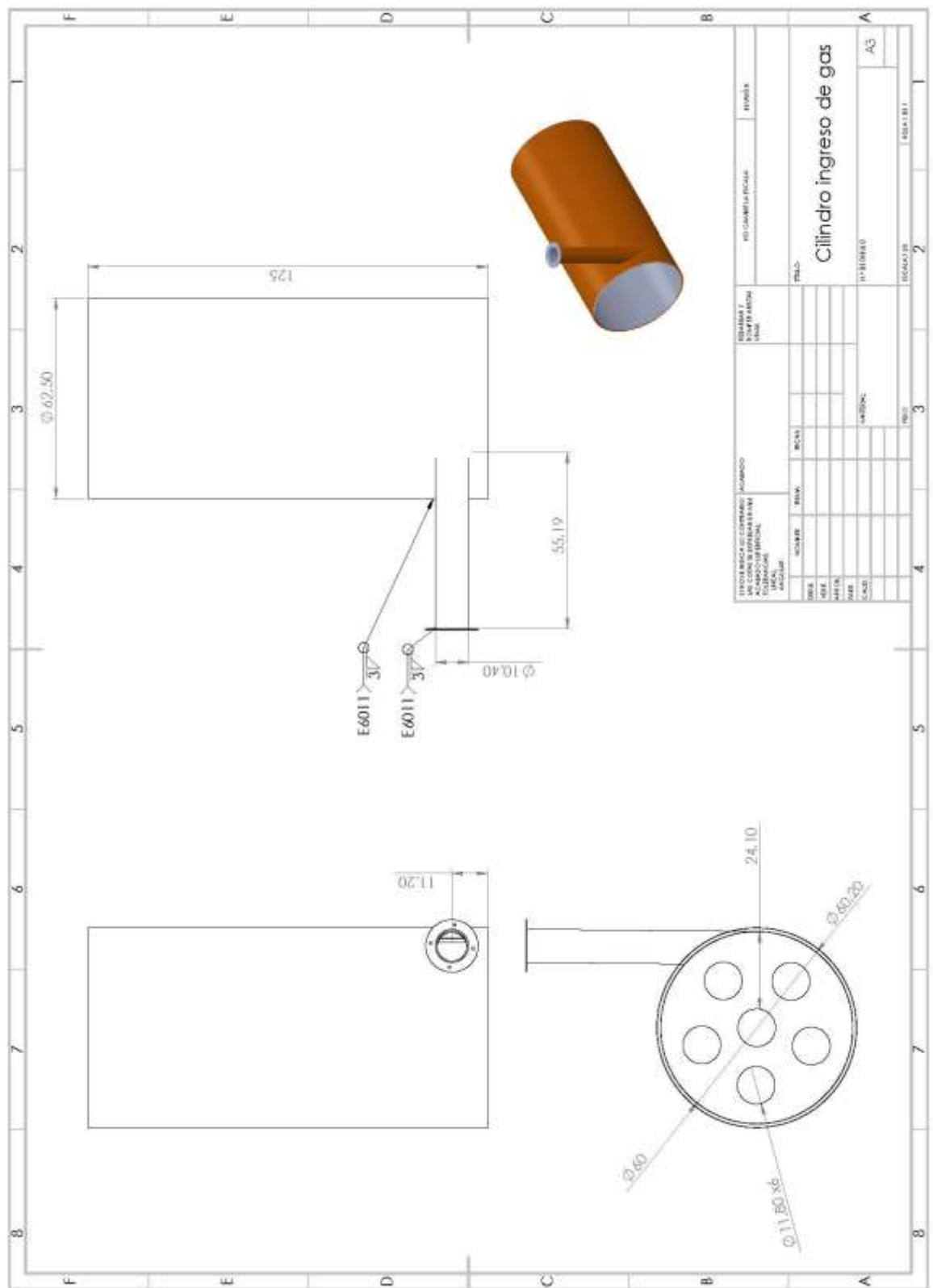
(Fuente: Propia)



(Fuente: Propia)



(Fuente: Propia)

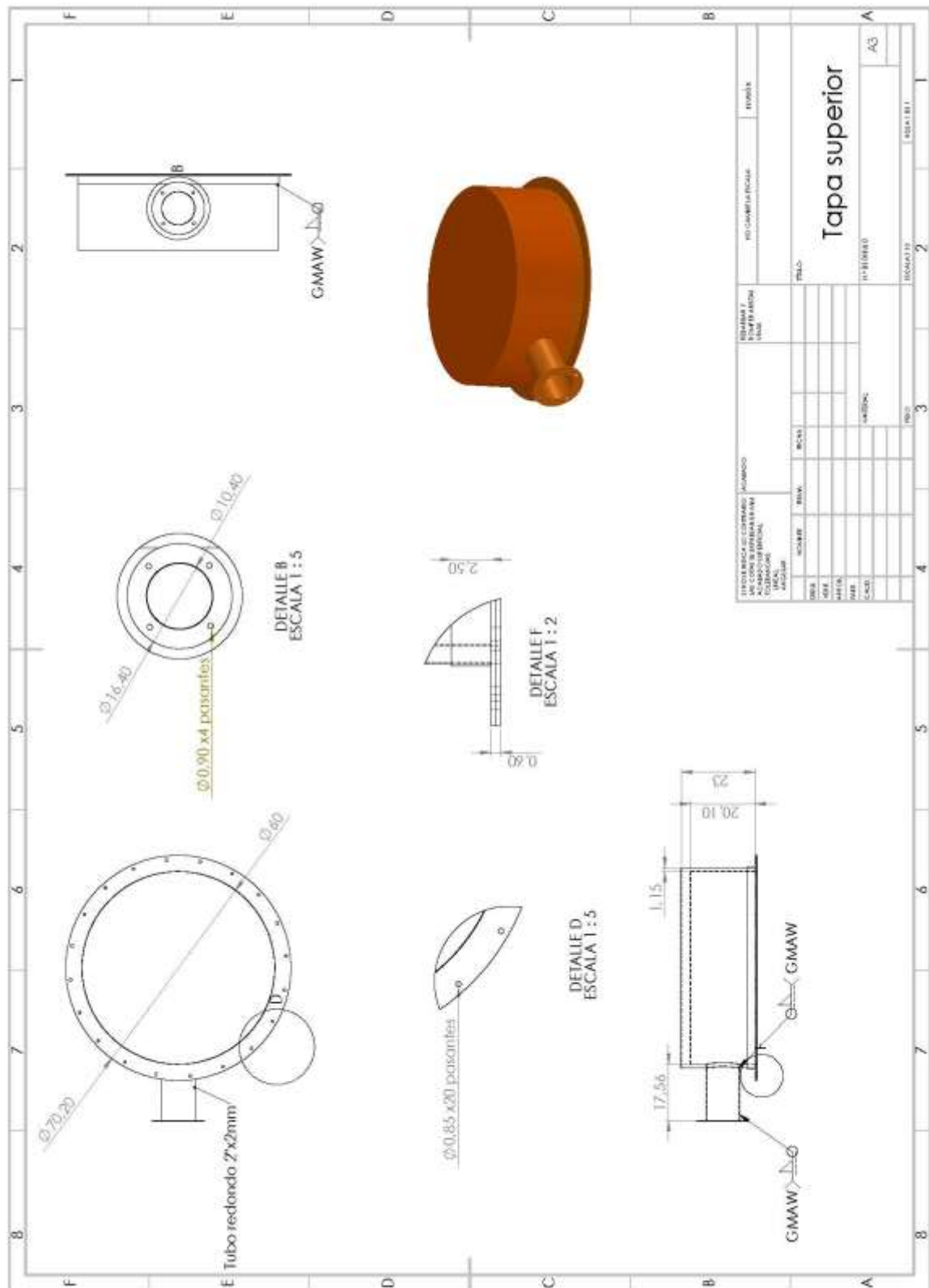


IDENTIFICACION GENERAL		IDENTIFICACION LOCAL		IDENTIFICACION DE MATERIALES	
NO.	DESCRIPCION	NO.	DESCRIPCION	NO.	DESCRIPCION
01	REGULADOR	01	REGULADOR	01	REGULADOR
02	GAUGE	02	GAUGE	02	GAUGE
03	GAUGE	03	GAUGE	03	GAUGE
04	GAUGE	04	GAUGE	04	GAUGE
05	GAUGE	05	GAUGE	05	GAUGE
06	GAUGE	06	GAUGE	06	GAUGE
07	GAUGE	07	GAUGE	07	GAUGE
08	GAUGE	08	GAUGE	08	GAUGE
09	GAUGE	09	GAUGE	09	GAUGE
10	GAUGE	10	GAUGE	10	GAUGE
11	GAUGE	11	GAUGE	11	GAUGE
12	GAUGE	12	GAUGE	12	GAUGE
13	GAUGE	13	GAUGE	13	GAUGE
14	GAUGE	14	GAUGE	14	GAUGE
15	GAUGE	15	GAUGE	15	GAUGE
16	GAUGE	16	GAUGE	16	GAUGE
17	GAUGE	17	GAUGE	17	GAUGE
18	GAUGE	18	GAUGE	18	GAUGE
19	GAUGE	19	GAUGE	19	GAUGE
20	GAUGE	20	GAUGE	20	GAUGE
21	GAUGE	21	GAUGE	21	GAUGE
22	GAUGE	22	GAUGE	22	GAUGE
23	GAUGE	23	GAUGE	23	GAUGE
24	GAUGE	24	GAUGE	24	GAUGE
25	GAUGE	25	GAUGE	25	GAUGE
26	GAUGE	26	GAUGE	26	GAUGE
27	GAUGE	27	GAUGE	27	GAUGE
28	GAUGE	28	GAUGE	28	GAUGE
29	GAUGE	29	GAUGE	29	GAUGE
30	GAUGE	30	GAUGE	30	GAUGE
31	GAUGE	31	GAUGE	31	GAUGE
32	GAUGE	32	GAUGE	32	GAUGE
33	GAUGE	33	GAUGE	33	GAUGE
34	GAUGE	34	GAUGE	34	GAUGE
35	GAUGE	35	GAUGE	35	GAUGE
36	GAUGE	36	GAUGE	36	GAUGE
37	GAUGE	37	GAUGE	37	GAUGE
38	GAUGE	38	GAUGE	38	GAUGE
39	GAUGE	39	GAUGE	39	GAUGE
40	GAUGE	40	GAUGE	40	GAUGE
41	GAUGE	41	GAUGE	41	GAUGE
42	GAUGE	42	GAUGE	42	GAUGE
43	GAUGE	43	GAUGE	43	GAUGE
44	GAUGE	44	GAUGE	44	GAUGE
45	GAUGE	45	GAUGE	45	GAUGE
46	GAUGE	46	GAUGE	46	GAUGE
47	GAUGE	47	GAUGE	47	GAUGE
48	GAUGE	48	GAUGE	48	GAUGE
49	GAUGE	49	GAUGE	49	GAUGE
50	GAUGE	50	GAUGE	50	GAUGE
51	GAUGE	51	GAUGE	51	GAUGE
52	GAUGE	52	GAUGE	52	GAUGE
53	GAUGE	53	GAUGE	53	GAUGE
54	GAUGE	54	GAUGE	54	GAUGE
55	GAUGE	55	GAUGE	55	GAUGE
56	GAUGE	56	GAUGE	56	GAUGE
57	GAUGE	57	GAUGE	57	GAUGE
58	GAUGE	58	GAUGE	58	GAUGE
59	GAUGE	59	GAUGE	59	GAUGE
60	GAUGE	60	GAUGE	60	GAUGE
61	GAUGE	61	GAUGE	61	GAUGE
62	GAUGE	62	GAUGE	62	GAUGE
63	GAUGE	63	GAUGE	63	GAUGE
64	GAUGE	64	GAUGE	64	GAUGE
65	GAUGE	65	GAUGE	65	GAUGE
66	GAUGE	66	GAUGE	66	GAUGE
67	GAUGE	67	GAUGE	67	GAUGE
68	GAUGE	68	GAUGE	68	GAUGE
69	GAUGE	69	GAUGE	69	GAUGE
70	GAUGE	70	GAUGE	70	GAUGE
71	GAUGE	71	GAUGE	71	GAUGE
72	GAUGE	72	GAUGE	72	GAUGE
73	GAUGE	73	GAUGE	73	GAUGE
74	GAUGE	74	GAUGE	74	GAUGE
75	GAUGE	75	GAUGE	75	GAUGE
76	GAUGE	76	GAUGE	76	GAUGE
77	GAUGE	77	GAUGE	77	GAUGE
78	GAUGE	78	GAUGE	78	GAUGE
79	GAUGE	79	GAUGE	79	GAUGE
80	GAUGE	80	GAUGE	80	GAUGE
81	GAUGE	81	GAUGE	81	GAUGE
82	GAUGE	82	GAUGE	82	GAUGE
83	GAUGE	83	GAUGE	83	GAUGE
84	GAUGE	84	GAUGE	84	GAUGE
85	GAUGE	85	GAUGE	85	GAUGE
86	GAUGE	86	GAUGE	86	GAUGE
87	GAUGE	87	GAUGE	87	GAUGE
88	GAUGE	88	GAUGE	88	GAUGE
89	GAUGE	89	GAUGE	89	GAUGE
90	GAUGE	90	GAUGE	90	GAUGE
91	GAUGE	91	GAUGE	91	GAUGE
92	GAUGE	92	GAUGE	92	GAUGE
93	GAUGE	93	GAUGE	93	GAUGE
94	GAUGE	94	GAUGE	94	GAUGE
95	GAUGE	95	GAUGE	95	GAUGE
96	GAUGE	96	GAUGE	96	GAUGE
97	GAUGE	97	GAUGE	97	GAUGE
98	GAUGE	98	GAUGE	98	GAUGE
99	GAUGE	99	GAUGE	99	GAUGE
100	GAUGE	100	GAUGE	100	GAUGE

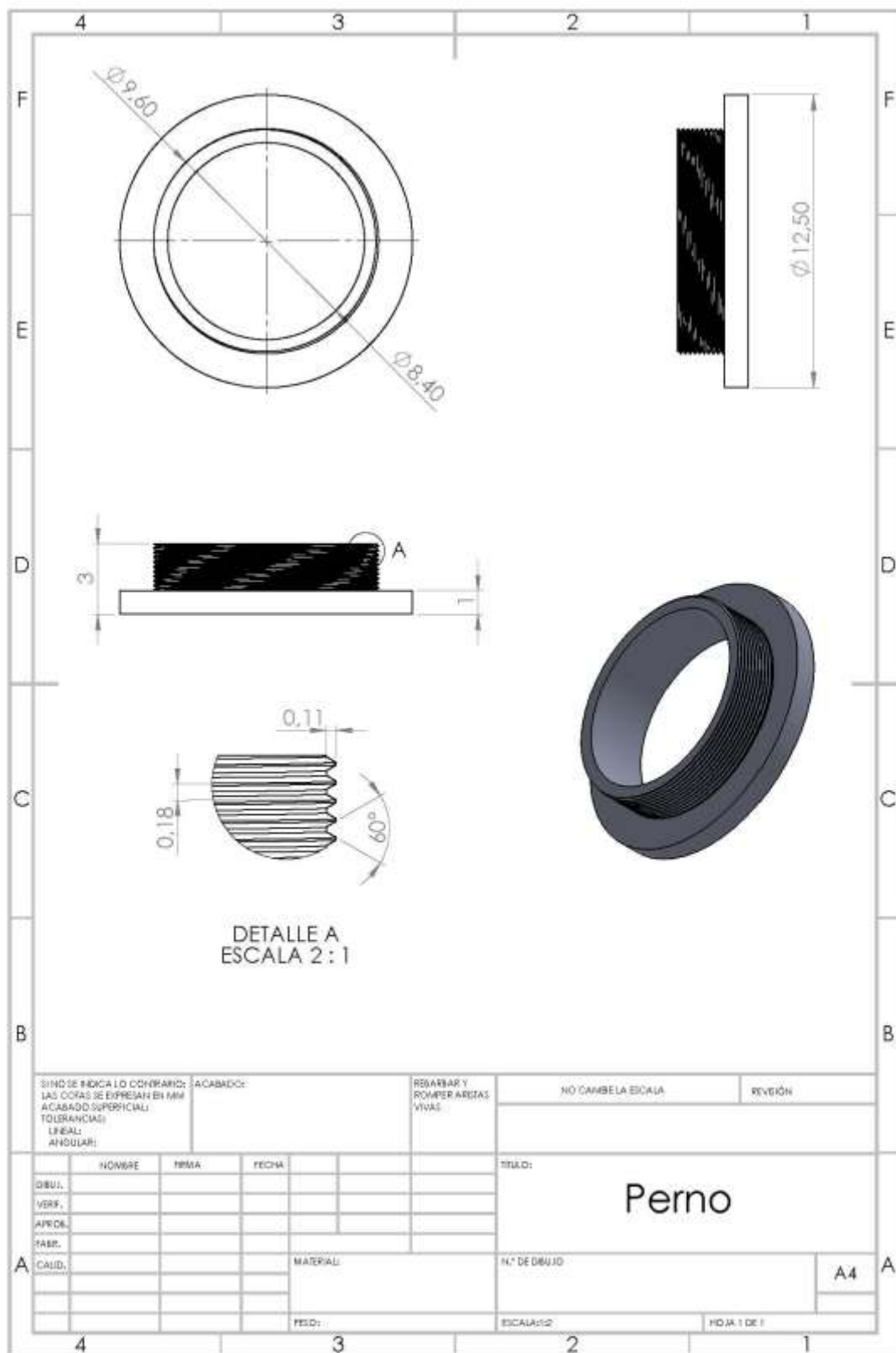
Cilindro ingreso de gas

AG

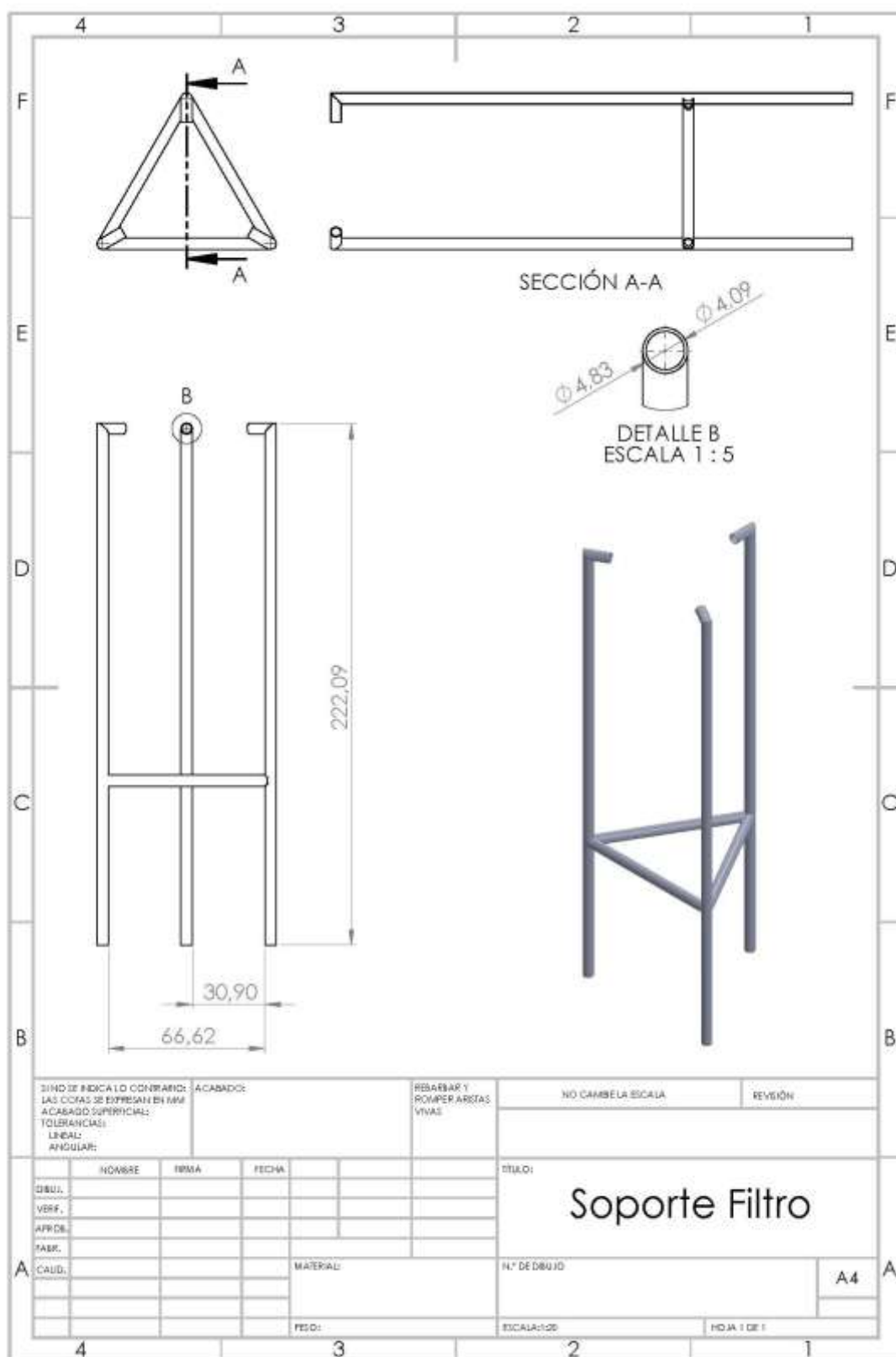
(Fuente: Propia)



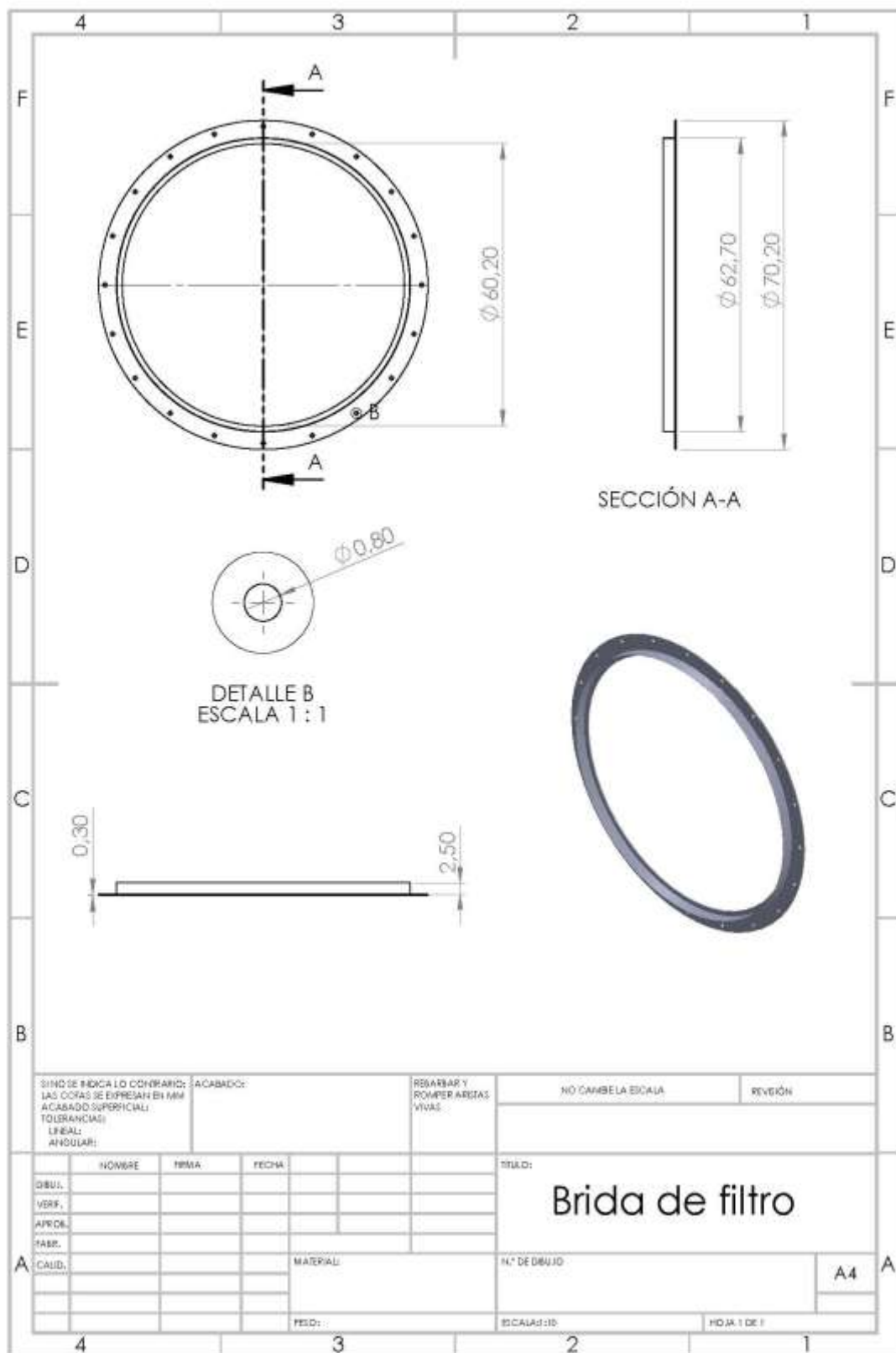
(Fuente: Propia)



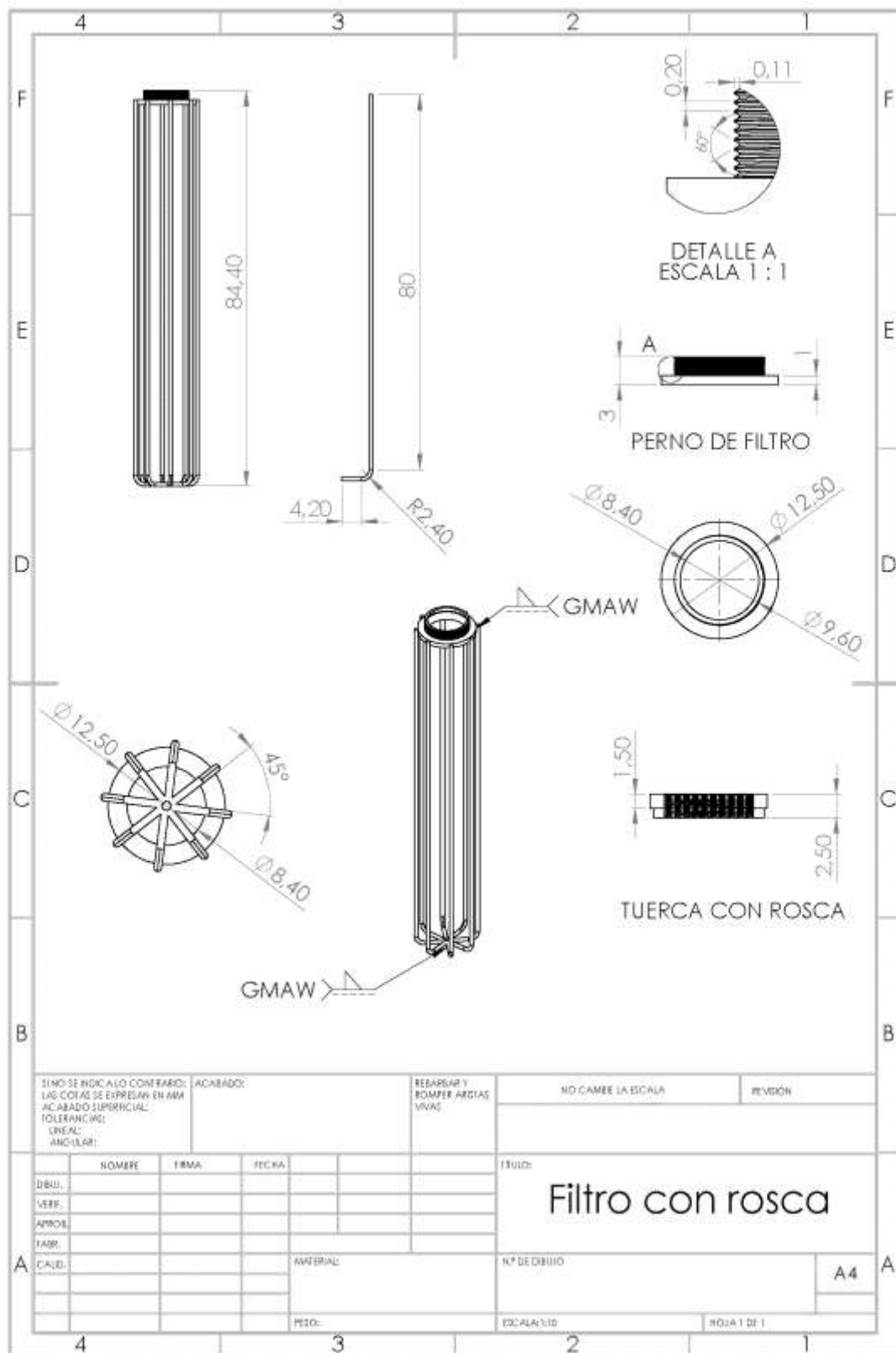
(Fuente: Propia)



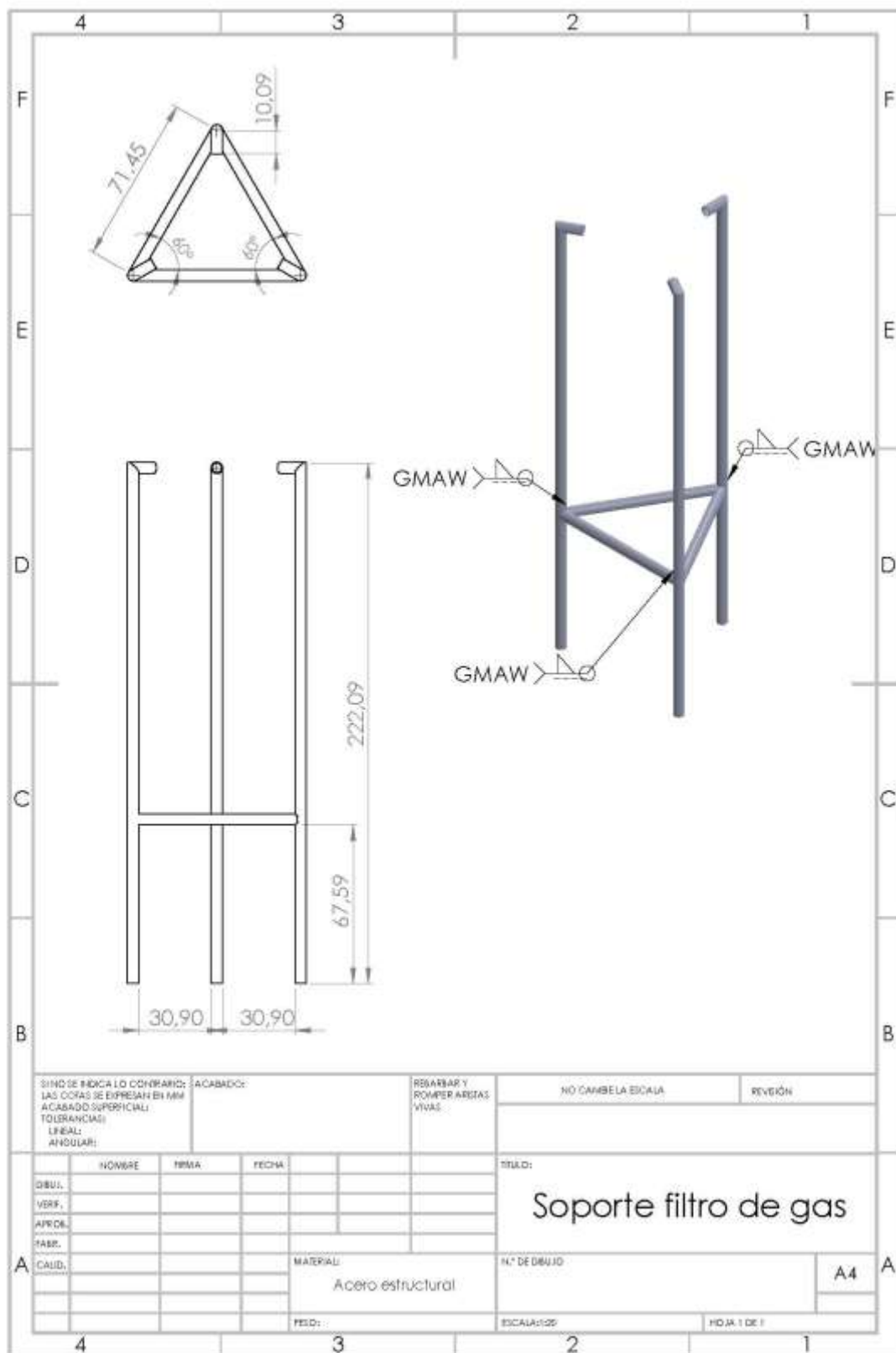
(Fuente: Propia)



(Fuente: Propia)

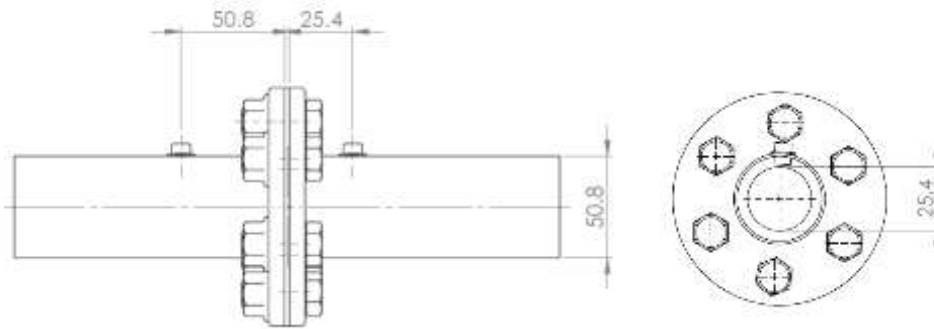


(Fuente: Propia)

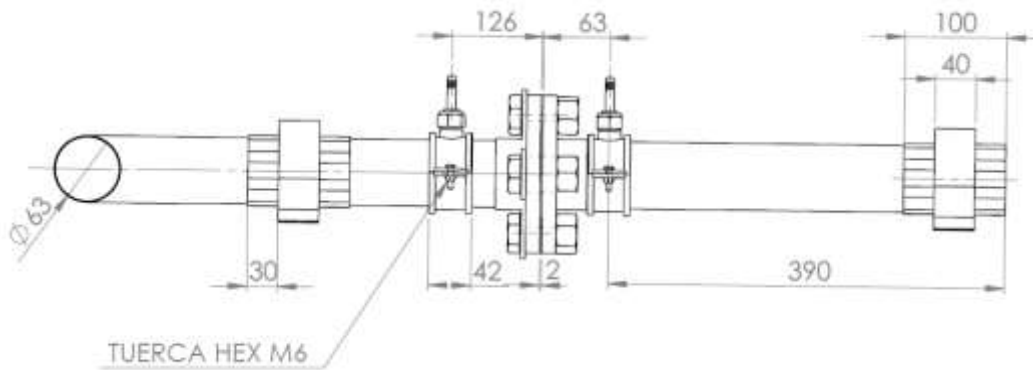


(Fuente: Propia)

Anexo 7. Placas orificio PI 10 y PI 20, cálculo para medición de flujo volumétrico



Placa orificio PT 10 para medición de caudal de gas producido.
(Fuente: Propia)



Placa orificio PT 20 para medición de ingreso de aire.
(Fuente: Propia)

Para a utilización de los caudalímetros, la ecuación que describe el flujo volumétrico mediante la presión diferencial (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2014) es:

$$\dot{V} = C A \sqrt{2g \Delta P} \quad 0.1$$

Donde:

\dot{V} es el flujo volumétrico o caudal en m³/s

C es el coeficiente de descarga, adimensional.

A es el área de la tubería en m²

$g = 9,79 \text{ m}^2/\text{s}$ es el valor de la gravedad en nuestra localidad.

ΔP es el valor de la presión diferencial en metros de columna de fluido.

Anexo 8. Cálculo de propiedades del gas pobre como una mezcla de gases

El gas pobre de madera es una mezcla de gases, como se observa en la siguiente tabla, por tanto las propiedades de este gas se deben calcular como un promedio ponderado de las propiedades de sus gases componentes.

Tabla 8.1. Composición volumétrica del gas pobre de madera.

Compuesto	Gas pobre [%]
Monóxido de carbono CO	24,04
Dióxido de Carbono CO ₂	14,66
Hidrogeno H ₂	14,05
Metano CH ₄	2,02
Nitrógeno N ₂	43,62

Fuente: (Zainal, Rifau, Qadir, & Seetharamu, 2002)

Esta tabla contiene los valores referenciales de la composición elemental del gas pobre de madera, para un caso particular de estudio se debería utilizar la composición obtenida del laboratorio.

La composición volumétrica es necesario convertirla a composición másica a través de la siguiente ecuación.

$$x_i = \frac{y_i M_i}{\sum y_i M_i} \quad \text{Ec. 8.1}$$

Donde:

x_i es el porcentaje másico del constituyente i en $\frac{kg_i}{kg}$

y_i es el porcentaje volumétrico del constituyente i en $\frac{kmol_i}{kmol}$

M_i es el valor de la masa molar del constituyente i en $\frac{kg}{kmol}$

Tabla 8.2. Composición volumétrica, másica y propiedades del gas pobre de madera.

COMPUESTO	y_i [%]	R [$\frac{kJ}{kg K}$]	C_p [$\frac{kJ}{kg K}$]	M [$\frac{kg}{kmol}$]	x_i [%]
CO	24,04	0,2968	1,040	28,011	25,9
CO ₂	14,66	0,1889	0,846	44,01	24,8
H ₂	14,05	4,124	14,307	2,016	1,1
CH ₄	2,02	0,5158	2,2537	16,043	1,2
N ₂	43,62	0,2968	1,039	28,013	47,0

(Fuente: Para el valor de las propiedades R , C_p y M se usa el Software EES. x_i se calcula con la ecuación 8.1.)

El calor específico a presión constante del gas pobre se lo obtiene en base a la teoría del cálculo de propiedades de una mezcla de gases, con la siguiente ecuación:

$$Cp_g = \sum Cp_i (x_i) \quad \text{Ec. 8.2.0.2}$$

Donde:

Cp_i es el calor específico a presión constante del constituyente i en $\frac{kJ}{kg K}$

$$Cp_g = 1,151 \frac{kJ}{kg K}$$

El valor de la constante particular del gas pobre se lo obtiene como una mezcla, de la siguiente ecuación:

$$R_g = \sum R_i (x_i) \quad \text{Ec. 8.3.}$$

Donde:

R_g es la constante particular del gas pobre en $\frac{kJ}{kg K}$

R_i es la constante particular del constituyente en $\frac{kJ}{kg K}$

$$R_g = 0,3144 \frac{kJ}{kg K}$$

El valor de la densidad del gas estimado a una temperatura de 95 °C (temperatura promedio entre T_{g_2} y T_{g_1}) del gas pobre se obtiene usando la ecuación de estado.

$$\rho_g = \frac{p_{atm}}{R_g T_g} \quad \text{Ec. 8.4.}$$

Donde:

ρ_g es la densidad del gas pobre que pasa por el enfriador estimada a 95 °C.

$p_{atm} = 72875 Pa$ es la presión atmosférica de Riobamba.

$$\rho_g = 0,6298 \frac{kg}{m^3}$$

Para el cálculo de la entalpía del gas, se lo resuelve tomando en cuenta el análisis de laboratorio de cromatografía, Anexo 13.

$$h_{gas} = \sum h_i (y_i) \quad \text{Ec.8.5}$$

Donde:

h_i es el valor de la entalpia del constituyente i, en las mismas condiciones de la mezcla, en MJ/kg, software EES Professional V9.

y_i es la fracción molar del compuesto i. Se obtiene de los resultados de laboratorio cromatográfico realizados. Anexo 13.

Tabla 8.3. Composición volumétrica y cálculo de la entalpia del gas pobre de madera.

COMPONENTE	y_i [%]	h_i [MJ/kg]	$h_i (y_i)$ [MJ/kg]
H2	26,28	5,011	1,3169
CO	7,06	0,4724	0,0334
CO2	40,7	0,1615	0,0658
CH4	7,6	0,4357	0,0331
N2	16,38	0,4922	0,0806
Etano	0,99	0,3694	0,0037
O	0,28	0,1639	0,0005
			1,5338

(Fuente: Propia)

$$h_{gas} = 1,5338 \text{ MJ/kg}$$

Anexo 9. Propiedades de gas ideal aire

Propiedades de gas ideal del aire											
T	h	P_r	u	v_r	s°	T	h	P_r	u	v_r	s°
K	kJ/kg		kJ/kg		kJ/kg · K	K	kJ/kg		kJ/kg		kJ/kg · K
200	199.97	0.3363	142.56	1707.0	1.29559	580	586.04	14.38	419.55	115.7	2.37348
210	209.97	0.3987	149.69	1512.0	1.34444	590	596.52	15.31	427.15	110.6	2.39140
220	219.97	0.4690	156.82	1346.0	1.39105	600	607.02	16.28	434.78	105.8	2.40902
230	230.02	0.5477	164.00	1205.0	1.43557	610	617.53	17.30	442.42	101.2	2.42644
240	240.02	0.6355	171.13	1084.0	1.47824	620	628.07	18.36	450.09	96.92	2.44356
250	250.05	0.7329	178.28	979.0	1.51917	630	638.63	19.84	457.78	92.84	2.46048
260	260.09	0.8405	185.45	887.8	1.55848	640	649.22	20.64	465.50	88.99	2.47716
270	270.11	0.9590	192.60	808.0	1.59634	650	659.84	21.86	473.25	85.34	2.49364
280	280.13	1.0889	199.75	738.0	1.63279	660	670.47	23.13	481.01	81.89	2.50985
285	285.14	1.1584	203.33	706.1	1.65055	670	681.14	24.46	488.81	78.61	2.52589
290	290.16	1.2311	206.91	676.1	1.66802	680	691.82	25.85	496.62	75.50	2.54175
295	295.17	1.3068	210.49	647.9	1.68515	690	702.52	27.29	504.45	72.56	2.55731
298	298.18	1.3543	212.64	631.9	1.69528	700	713.27	28.80	512.33	69.76	2.57277
300	300.19	1.3860	214.07	621.2	1.70203	710	724.04	30.38	520.23	67.07	2.58810
305	305.22	1.4686	217.67	596.0	1.71865	720	734.82	32.02	528.14	64.53	2.60319
310	310.24	1.5546	221.25	572.3	1.73498	730	745.62	33.72	536.07	62.13	2.61803
315	315.27	1.6442	224.85	549.8	1.75106	740	756.44	35.50	544.02	59.82	2.63280
320	320.29	1.7375	228.42	528.6	1.76690	750	767.29	37.35	551.99	57.63	2.64737
325	325.31	1.8345	232.02	508.4	1.78249	760	778.18	39.27	560.01	55.54	2.66176
330	330.34	1.9352	235.61	489.4	1.79783	780	800.03	43.35	576.12	51.64	2.69013
340	340.42	2.149	242.82	454.1	1.82790	800	821.95	47.75	592.30	48.08	2.71787
350	350.49	2.379	250.02	422.2	1.85708	820	843.98	52.59	608.59	44.84	2.74504
360	360.58	2.626	257.24	393.4	1.88543	840	866.08	57.60	624.95	41.85	2.77170
370	370.67	2.892	264.46	367.2	1.91313	860	888.27	63.09	641.40	39.12	2.79783
380	380.77	3.176	271.69	343.4	1.94001	880	910.56	68.98	657.95	36.61	2.82344
390	390.88	3.481	278.93	321.5	1.96633	900	932.93	75.29	674.58	34.31	2.84856
400	400.98	3.806	286.16	301.6	1.99194	920	955.38	82.05	691.28	32.18	2.87324
410	411.12	4.153	293.43	283.3	2.01699	940	977.92	89.28	708.08	30.22	2.89748
420	421.26	4.522	300.69	266.6	2.04142	960	1000.55	97.00	725.02	28.40	2.92128
430	431.43	4.915	307.99	251.1	2.06533	980	1023.25	105.2	741.98	26.73	2.94468
440	441.61	5.332	315.30	236.8	2.08870	1000	1046.04	114.0	758.94	25.17	2.96770
450	451.80	5.775	322.62	223.6	2.11161	1020	1068.89	123.4	776.10	23.72	2.99034
460	462.02	6.245	329.97	211.4	2.13407	1040	1091.85	133.3	793.36	23.29	3.01260
470	472.24	6.742	337.32	200.1	2.15604	1060	1114.86	143.9	810.62	21.14	3.03449
480	482.49	7.268	344.70	189.5	2.17760	1080	1137.89	155.2	827.88	19.98	3.05608
490	492.74	7.824	352.08	179.7	2.19876	1100	1161.07	167.1	845.33	18.896	3.07732
500	503.02	8.411	359.49	170.6	2.21952	1120	1184.28	179.7	862.79	17.896	3.09825
510	513.32	9.031	366.92	162.1	2.23993	1140	1207.57	193.1	880.35	16.946	3.11883
520	523.63	9.684	374.36	154.1	2.25997	1160	1230.92	207.2	897.91	16.064	3.13916
530	533.98	10.37	381.84	146.7	2.27967	1180	1254.34	222.2	915.57	15.241	3.15916
540	544.35	11.10	389.34	139.7	2.29906	1200	1277.79	238.0	933.33	14.470	3.17888
550	555.74	11.86	396.86	133.1	2.31809	1220	1301.31	254.7	951.09	13.747	3.19834
560	565.17	12.66	404.42	127.0	2.33685	1240	1324.93	272.3	968.95	13.069	3.21751
570	575.59	13.50	411.97	121.2	2.35531						

Fuente: (Yunus & Michael, 2011)

Anexo 11. Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T_f , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k , W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (an atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , α a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P.

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosidad, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Haldemans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-30607020-8.

Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011)

Anexo 12. Listado, dirección y ubicación de establecimientos encuestados en el cantón Riobamba



ESPOCH

ESTADÍSTICA DE PRODUCCIÓN Y COMERCIO AGROPECUARIO
 MINISTERIO AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESQUERÍA
 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS
 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
 ESTADÍSTICA DE PRODUCCIÓN Y COMERCIO AGROPECUARIO
 ESTADÍSTICA DE PRODUCCIÓN Y COMERCIO AGROPECUARIO
 ESTADÍSTICA DE PRODUCCIÓN Y COMERCIO AGROPECUARIO



Código	Nombre	Dirección	Ubicación
01
02
03
04
05
06
07
08
09
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

Código	Nombre	Dirección	Ubicación
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

Nº de informe: 1
Sector académico: 1
Ítem del sector: 3.1

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

Nº	Código	Nombre del establecimiento	Especie del establecimiento
1	1.a	Molinos Quimsa	Av. Francisco de Oroya y Comodoro
2	1.b	Taller y Carpintería de María Elena	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
3	1.c	Aserradero Moderno	Av. Panamericana Sur y San Cruz



Nº de local	Código	Nombre del establecimiento	Especie del establecimiento
1	1.a	Molinos Quimsa	Av. Francisco de Oroya y Comodoro
2	1.b	Taller y Carpintería de María Elena	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
3	1.c	Aserradero Moderno	Av. Panamericana Sur y San Cruz
4	2.a	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
5	2.b	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
6	2.c	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
7	2.d	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
8	2.e	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
9	2.f	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
10	2.g	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
11	2.h	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
12	2.i	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
13	2.j	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
14	2.k	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
15	2.l	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
16	2.m	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
17	2.n	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
18	2.o	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
19	2.p	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
20	2.q	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
21	2.r	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
22	2.s	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
23	2.t	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
24	2.u	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
25	2.v	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
26	2.w	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
27	2.x	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
28	2.y	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
29	2.z	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
30	3.a	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
31	3.b	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
32	3.c	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
33	3.d	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
34	3.e	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
35	3.f	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
36	3.g	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
37	3.h	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
38	3.i	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
39	3.j	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
40	3.k	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
41	3.l	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
42	3.m	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
43	3.n	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
44	3.o	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
45	3.p	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
46	3.q	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
47	3.r	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
48	3.s	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
49	3.t	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
50	3.u	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
51	3.v	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
52	3.w	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
53	3.x	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
54	3.y	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
55	3.z	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
56	4.a	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
57	4.b	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
58	4.c	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
59	4.d	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
60	4.e	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
61	4.f	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
62	4.g	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
63	4.h	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
64	4.i	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
65	4.j	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
66	4.k	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
67	4.l	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
68	4.m	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
69	4.n	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
70	4.o	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
71	4.p	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
72	4.q	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
73	4.r	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
74	4.s	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
75	4.t	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
76	4.u	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
77	4.v	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
78	4.w	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
79	4.x	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
80	4.y	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
81	4.z	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
82	5.a	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
83	5.b	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
84	5.c	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
85	5.d	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
86	5.e	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
87	5.f	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
88	5.g	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
89	5.h	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
90	5.i	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
91	5.j	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
92	5.k	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
93	5.l	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
94	5.m	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
95	5.n	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
96	5.o	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
97	5.p	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
98	5.q	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
99	5.r	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.
100	5.s	Aserradero Quimsa	Av. Benavente Barr. Bozales de Topi.

Ubicación:
Especie:
Identificación:

Nota: se muestra el lugar en donde se obtiene información proveniente del propietario



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

Nº de Informe: 3
Sector asociado: 3
Límites del sector: "

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

Nº	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1		Hoja de escombros establecimientos	
2			
3			
4			



DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

Nº de Informe: 2
Sector asociado: 2
Límites del sector: 5,2

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

Nº	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	2.a	20E	Av. Marañón y Calle San Felipe
2	2.b	20E	Av. Flores, Leonesda Proledo y E. Oro
3	2.c	Estadística de construcciones	Av. Esteban y Calle sin nombre
4	2.d	20E	Av. San Sebastián y Río Danta
5	2.e	20E	Av. María Leonor da Proledo y Leonesda Proledo





ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIORAMBIA

IP de Edifício: 5
Sector censitario: 5
Límites del sector: P30 y P29

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

IP	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	5a	Daniel Durán	Avenida Salas y Madrid de Santiago
2	5b	Fabris Muebles	Guayas y Arceles
3	5c	Alcornoque Balsa	Av. Checoslovaquia y Balsa de Sangu



DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIORAMBIA

IP de Edifício: 4
Sector censitario: 4
Límites del sector: 11 NOVIEMBRE BOBROS ABOINO-BT

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

IP	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	4a	MUEBLES SAN JOSE	AV. CARLOS RAMOS Y ABRAHIL GILBERT
2	4b	C. MATELES SAN JOSE	MANUEL BERRIO Y GARCIBARRA
3	4c	ANDRÉS LARCO	MIGUEL DE SANTIAGO FENOTEMBA
4	4d	FRANCO MUEBLES	AV. CARLOS RAMOS Y GARCIBARRA
5	4e	FABRICA DE MUEBLES CHIMBORAZO	GOBIERNO Y CALACALLA
6	4f	MUEBLES METAL	AV. CARLOS RAMOS Y ABRAHIL GILBERT
7	4g	LARCO Y MATELES	AV. CARLOS RAMOS Y BERRIO GARCIBARRA
8	4h	MUEBLES MANHAYO E HOS	AV. CARLOS RAMOS Y NEALAS DEL OJAYO





ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

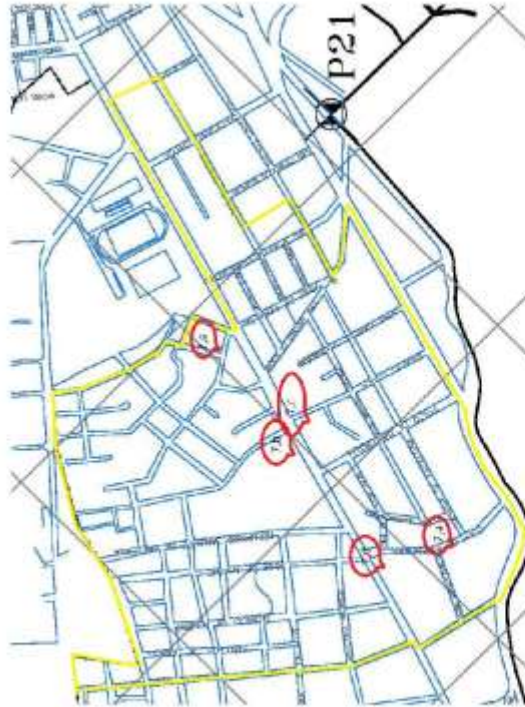
7

IP# de Informe:
Sector censado:
Límites del sector:

7
MARCOS ALCOCER Y FELICIANO CHECA

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

IP#	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	7a	centro comercial	Espejo de Armerías y Obispo Escobar
2	7b	Platimoble	av. Pedro Vicente Maldonado
3	7c	Mueblería Teguero	Av. Pedro Vicente Maldonado
4	7d	Madermaida	Av. Pedro Vicente Maldonado y Armerías
5	7e	Mueblería Urzúa	José Tarabaly Pedro Urzúa



6

IP# de Informe:
Sector censado:
Límites del sector:

6
Fernando de Santillán, Juan de los ríos y Pedro Vicente Maldonado

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

IP#	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	6a	Cristóbal Muñoz	Duarte y Orosco sur km.2
2	6b	Mueblería Afron mabeira	Av. Pedro Vicente Maldonado y Martín Arce
3	6c	Espejo de maderas "El Monte"	Av. Pedro Vicente Maldonado y Largo de coque
4	6d	Fábrica de maderas "El Monte"	Av. Pedro Vicente Maldonado y Martín Arce
5	6e	Academia San Pedro de Riobamba	Av. Pedro Vicente Maldonado y Martín Arce
6	6f	Bizarrería "Mafur"	Av. Pedro Vicente Maldonado y Colón
7	6g	Mueblería "varmala"	Av. M.L. Prado y A. Ferro Pines Bazar
8	6h	Academia San Pedro	Av. M.L. Prado y Estación Mañá
9	6i	Academia María	Av. M.L. Prado y Manuel Barral





ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

Nº de informe: 9
Sector muestreado: 9
Límites del sector:

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

Nº	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	9.A	FINCA LOS RÍOS - ENDECA - EL ORO	Av. La Tronera y José María Borrero
2	9.B	MARSHAL DEL MURALLE	Finca Los Ríos y Manuel Guzmán
3	9.C	ACEQUIAS DE "LA SOLEDAD"	Manrique de Marulanda y Luis Súa

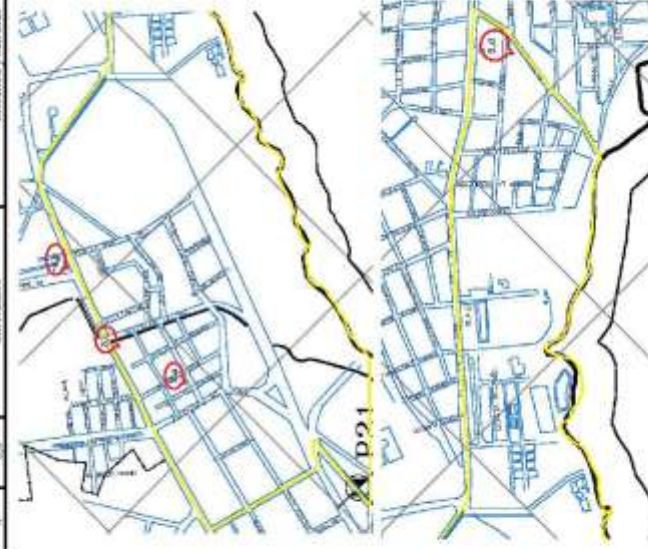


DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

Nº de informe: 8
Sector muestreado: 8
Límites del sector:

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

Nº	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	8.A	Muelle Juan	Finca Los Ríos y Manuel Alban
2	8.B	Capitán El Caballero	Pedro Viqueo y 2 de Octubre
3	8.C	EXPORTAR LA FORMA	Pedro Viqueo y Abat Cordero
4	8.D	San Isidro	Alfonso y San Juan





ESPOCH

ACADEMIA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



ESPOCH

ACADEMIA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

Nº de Informe: 11
Sector regional: 11
Fecha del sector: AV. LA FRONERA, AVENIDA HERO.

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

Nº	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	11.a	EPH	Entre Cuzco de Ibarra y Blanca T. coli
2	11.b	BAI	Entre Loja de Cuzco y 2 de Mayo Zarabano
3	11.c	COOPIN	Entre Yari y 2 de Mayo La Voz del Campesino
4	11.d	BAI	Entre Ibarra y los Arroyos
5	11.e	BAI	Entre Cuzco y los Arroyos



DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

Nº de Informe: 10
Sector regional: 10
Fecha del sector:

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

Nº	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	10.a	Mobilis	Av. Santa Ana y José Montalvo y Pablo Palacios
2	10.b	Mallorca Mall	Av. Santa Ana y José Montalvo
3	10.c	Mallorca Juice	Av. Santa Ana y José Montalvo





ESPOCH
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

1.1

1º de Informe:
 Sector municipal:
 Límite del sector

1.2
 Cajo, Eduardo Chiriboga González

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

Nº	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	13.1	Compañía "Santa Mercedes"	Eduardo Chiriboga y Sotomayor
2	13.2	Compañía 1974	Volcanes Potosí y Sotomayor
3	13.3	Compañía 1971	Av. Agustín Lara de Saray y Ocho de Mayo
4	13.4	Compañía 1973	Volcanes Potosí y Sotomayor
5	13.5	Compañía 2011	Volcanes Potosí y Sotomayor
6	13.6	Prodecarpaba	Vialto de la Av. Alameda y Ocho de Mayo
7	13.7	Aserradero "Maldonado Construcción"	Av. Américo Jara de Saray y Ocho de Mayo
8	13.8	Aserradero "El Dorado"	Av. Américo Jara de Saray y Ocho de Mayo
9	13.9	Aserradero y Aserradorías "El Alba"	Av. Américo Jara de Saray y Ocho de Mayo
10	13.10	Aserradero "El Tobar"	Av. Américo Jara de Saray y Ocho de Mayo
11	13.11	Aserradero "El Tobar"	Av. Américo Jara de Saray y Ocho de Mayo
12	13.12	Aserradero "El Tobar"	Av. Américo Jara de Saray y Ocho de Mayo
13	13.13	Aserradero "El Tobar"	Av. Américo Jara de Saray y Ocho de Mayo
14	13.14	Aserradero "El Tobar"	Av. Américo Jara de Saray y Ocho de Mayo
15	13.15	Aserradero "El Tobar"	Av. Américo Jara de Saray y Ocho de Mayo
16	13.16	Aserradero "El Tobar"	Av. Américo Jara de Saray y Ocho de Mayo
17	13.17	Aserradero "El Tobar"	Av. Américo Jara de Saray y Ocho de Mayo
18	13.18	Aserradero "El Tobar"	Av. Américo Jara de Saray y Ocho de Mayo
19	13.19	Aserradero "El Tobar"	Av. Américo Jara de Saray y Ocho de Mayo
20	13.20	Aserradero "El Tobar"	Av. Américo Jara de Saray y Ocho de Mayo



ESPOCH
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

1.2

1º de Informe:
 Sector municipal:
 Límite del sector

1.2
 Mamiel Elíseo Flor y Av 9 de Oct.

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

Nº	Código	Sector del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	12.1	Novoriento Ecuatoriana	Unidad Horacita y Condesa





ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIORAMBA

15

RP de barrio

15

Sector marmado

Ente del sector Norte: Av. Circunvalación, Sur: Primera Coartagante, Este: Joaquín Chariboga, y Oeste: Eugenio Espejo

LISTA DE LOCALIDADES IDENTIFICADAS EN EL SECTOR

R#	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	15A	Machobita y agua del cañal	Exposición del establecimiento
2	15B	Compañía Carlos Lara	León de la Cruz, Córdoba y Pedro Alvarado
3	15C	Machobita Sarmiento	Juzgado Barba y Diego de Almagro
4	15D	Machobita Chariboga	Juzgado Barba y Diego de Almagro



14

RP de barrio

14

Sector marmado

Ente del sector Este: Qto. Av.

LISTA DE LOCALIDADES IDENTIFICADAS EN EL SECTOR

R#	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	14A	Exposición de machos "Machobita"	Av. Esteban Bonifaz Espín
2	14B	Compañía "Ara e Inverecor"	Av. Esteban Bonifaz Espín
3	14C	Machobita "Alta y Baja"	Calle de la Torre
4	14D	Machobita "Cajón"	Calle de la Torre
5	14E	Empresario "Ortiz"	Av. Esteban Bonifaz Espín
6	14F	Empresario "Lara"	Av. Esteban Bonifaz Espín
7	14G	Empresario "Cajón"	Av. Esteban Bonifaz Espín
8	14H	Empresario "El Tintero"	Av. Esteban Bonifaz Espín
9	14I	Compañía "El Tintero"	Av. Esteban Bonifaz Espín
10	14J	Compañía "Cajón"	Av. Esteban Bonifaz Espín
11	14K	Compañía "El Tintero"	Av. Esteban Bonifaz Espín
12	14L	Compañía "El Tintero"	Av. Esteban Bonifaz Espín
13	14M	Compañía "El Tintero"	Av. Esteban Bonifaz Espín
14	14N	Compañía "El Tintero"	Av. Esteban Bonifaz Espín
15	14O	Compañía "El Tintero"	Av. Esteban Bonifaz Espín
16	14P	Compañía "El Tintero"	Av. Esteban Bonifaz Espín
17	14Q	Compañía "El Tintero"	Av. Esteban Bonifaz Espín
18	14R	Compañía "El Tintero"	Av. Esteban Bonifaz Espín
19	14S	Compañía "El Tintero"	Av. Esteban Bonifaz Espín
20	14T	Compañía "El Tintero"	Av. Esteban Bonifaz Espín





ESPOCH

AV. VIAL
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



ESPOCH

AV. VIAL
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

Nº de informe: 17
Sector muestreo: 17
Límites del sector: CONCEPCION - AV. CIRQUINV.

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

Nº	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	17.a	MAJEEBAL	AV. CIRCUNVALACION Y AV. CAJE
2	17.b	NN	RAMON BOLIVAR Y FERREIRA
3	17.c	ACERCA DEL BOSQUE	AV. CIRCUNVALACION Y FERREIRA
4	17.d	ALU MATEAS	AV. CIRCUNVALACION Y FERREIRA
5	17.e	DEPOSITO MANEJA GALLITOS	AV. CIRCUNVALACION Y FERREIRA
6	17.f	DEPOSITO MANEJA GALLITOS	AV. CIRCUNVALACION Y FERREIRA
7	17.g	MANEJA GORECK	CIRCUNVALACION Y FERREIRA



Nº de informe: 16
Sector muestreo: 16
Límites del sector: AV. JOAQUIN CHIRBOJA Y AV. CELSO RODRIGUEZ

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

Nº	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	16.a	FERRAGE S.A.	Av. Bolívar, Benito y Diego Morúa
2	16.b	ASERRADERO GERALFORD	Av. Edilberto Benito y Abaroa
3	16.c	CYBERNETIC	Av. Edilberto Benito y Abaroa
4	16.d	Fábrica de Paquet "LOS PINOS"	Av. Celso Abaroa, Jorge Luis de Vargas (Jardín)
5	16.e	MUEBLES GASTEVAR	Evangelino Chirvo y Antonio Benítez
6	16.f	El tiempo Asociados	Buena Vista 2038





ESPOCH
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



ESPOCH
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

3º de febrero 19

Sector muestreado 19

Límites del sector LA PAZ

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

3º	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	19A	no tiene nombre	Chile entre Loja y Juanita Chiriguá
2	19B	Talenta Tarma	Miraflores y 12 de octubre
3	19C	Los cañales azules	Abascocha y 12 de octubre
4	19D	Elvira y sus hijos	Rosales entre Loja y Durango
5	19E	Los hermanos	Umanzo y Escobedo



ESPOCH
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



ESPOCH
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

3º de febrero 18

Sector muestreado 18

Límites del sector PRIMERA CONSTITUYENTE Y AV. MIGUEL DE LEÓN HASTA LA 9 DE OCTUBRE Y TARQ

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

3º	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	18A		Cobandía y Frutilla
2	18B	Computera Cuatrecasas	9 de Octubre y Espino
3	18C	Molinería y Carpintería Camalillo	9 de Octubre y Durán
4	18D	El Cofre	Prohorda y Esperanza
5	18E		Yachumbá y Escobedo
6	18F	Carpintería Alvarez	Carra Moreno y Bosque
7	18G		12 de Octubre y Escobedo
8	18H	Múltiple	Escobedo y Caraballeda
9	18I		Caraballeda y Lapata
10	18J	Industria Mueblería Robalino	Caraballeda y Juan Montalvo
11	18K	Outerra Suroccidental	Caraballeda y Juan Montalvo
12	18L	Carpintería J.T.E.I.V.	Escobedo y Escobedo





ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIORAMBAMBA

N° de informe: 21

Sector muestreado: 21

Límite del sector: Desde los puntos 6 al 14 al sur y este, Av 10 de Agosto al Norte, Av Tarapi al Oeste

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

N°	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	21.a	Aguarero Matorredo	Av. 9 de Octubre y Ocho E-08
2	21.b	Aserradero Ochoa	Av. 9 de Octubre y Ocho E-08
3	21.c	Indio Tarapi	Av. 8 de Octubre, manzana 3, Lote 3
4	21.d	Aserradero Marco Vargas	Av. 9 de Octubre y la Habana
5	21.e	Paralelo E.A.	Indio Tarapi y Pachi



N° de informe: 20

Sector muestreado: 20

Límite del sector:

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

N°	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	20.a	En nombre	Miki y Zona (Ergano)
2	20.b	En nombre	Av. Leopoldo Fruto, frente a la puerta de la policía
3	20.c	En nombre	Maldonado y Zona
4	20.d	En nombre	Maldonado y Zona
5	20.e	En nombre	Zona y Obispo





ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



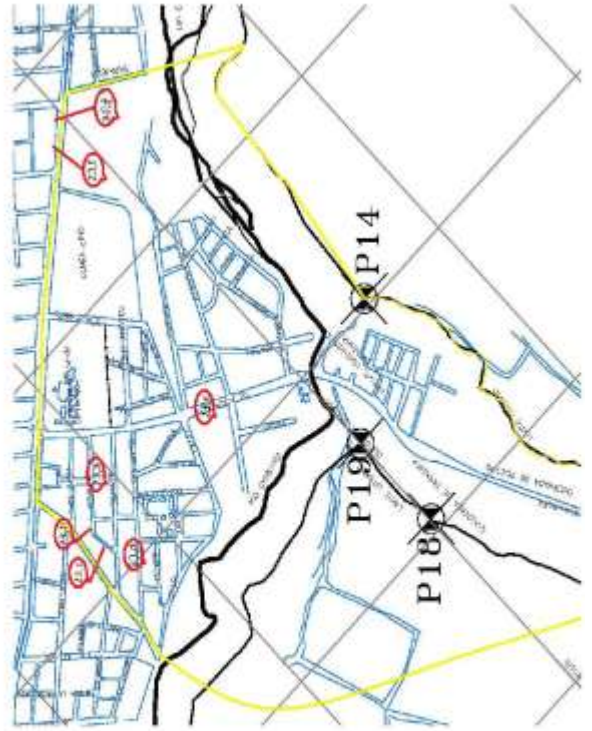
ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

1ºº de febrero 23
Sector: rural
Límite del sector: Dardón, Janer y Quevedo de Larcama

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

1ºº	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	21.1	Capitania "Manuel"	Quevedo y Quevedo
2	21.2	Capitania "Emilia"	Emilia y Quevedo
3	21.3	Emilia "Los Andes"	Emilia y Quevedo
4	21.4	Capitania San Andrés	San Andrés y Dardón
5	21.5	Capitania "Julia"	Av. Alhambra y Quevedo
6	21.6	Capitania "Carmen"	9 de Octubre y Espino
7	21.7	Molinería y Carpintería "Ovalle"	9 de Octubre y Espino
8	21.8	San Andrés	San Vicente de Yaguajón
9	21.9	San Andrés	San Vicente de Yaguajón
10	21.10	San Andrés	San Vicente de Yaguajón
11	21.11	San Andrés	San Vicente de Yaguajón
12	21.12	San Andrés	San Vicente de Yaguajón
13	21.13	San Andrés	San Vicente de Yaguajón
14	21.14	San Andrés	San Vicente de Yaguajón
15	21.15	San Andrés	San Vicente de Yaguajón
16	21.16	San Andrés	San Vicente de Yaguajón
17	21.17	San Andrés	San Vicente de Yaguajón
18	21.18	San Andrés	San Vicente de Yaguajón



1ºº de febrero 22
Sector: urbano
Límite del sector: Dardón, Janer

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

1ºº	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	22.1	Asentamiento "Amalinda"	Emilia y Quevedo
2	22.2	Capitania "Augusto Rodríguez"	Colombia y Quevedo
3	22.3	Molinería "Molinería"	Av. 9 de Octubre y Pan de Azúcar
4	22.4	Molinería "Palma"	Av. 9 de Octubre y Pan de Azúcar
5	22.5	Taller y molinería "San Carlos"	Av. 9 de Octubre y Pan de Azúcar
6	22.6	Molinería "Molinería"	Av. 9 de Octubre y Pan de Azúcar





ESPOCH

ACADEMIA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

N° de informe: 25
Sector muestreado: 25 CALPI
Límites del sector:

LISTA DE LOCALIDADES IDENTIFICADAS EN EL SECTOR

N°	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	25.a	Tecnoaldea mar del norte	Guaranda y Puyo
2	25.b	Manufactura Santiago de Calpi	Rafael Dávalos y Olavalo



ESPOCH

ACADEMIA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

N° de informe: 24
Sector muestreado: 24 TABUQUINES-2
Límites del sector: PL-24 de Mayo PZ Navesol León P-26 de los Gabas

LISTA DE LOCALIDADES IDENTIFICADAS EN EL SECTOR

N°	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	24.a	Univ. San Francisco de Asís	Av. Abasolo desde el Incentivo Alavshi
2	24.b	Multiservicios Sawyer	Puque Lobos y Ciudad Rápido
3	24.c	Carpanera	Miranda Barros Tamayo
4	24.d	Tanzania	Miranda Barros Tamayo





ESPOCH

ACADEMIA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



ESPOCH

ACADEMIA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

27
27 CACHA

10 de febrero
Oficina central
Luzmila del sector

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

IP	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	27.1	AFSCA	Paraguri CACHA

IP	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	26.1	Regard Tena	BARRIO CENTRAL
1	26.2	CARPINTERÍA "MARCETAP"	NO PROPORCIONA INFORMACIÓN
1	26.3	CAJUELO BARRACHE	JOSE MARIA TOMERIO - AV. BARRIO CENTRAL





ESPOCH

ACADEMIA
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS



ESPOCH

ACADEMIA
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

DIAGNOSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIORAMBA

N° de Informe: 29
Sector económico: 29 CUBIJES
Localidad del sector:

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

N°	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1		No se encontró establecimiento	

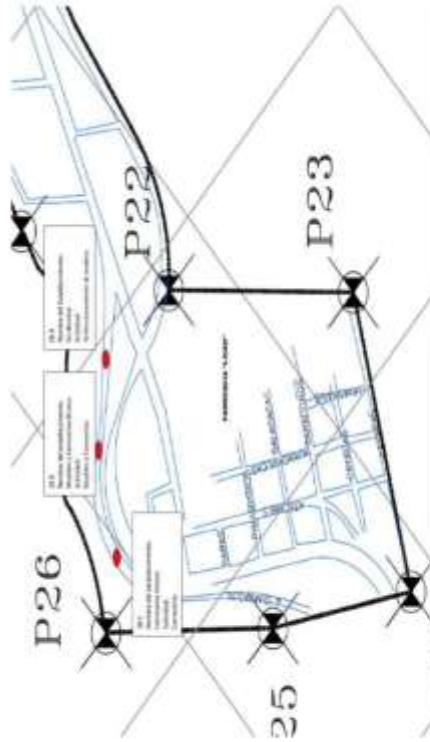


DIAGNOSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIORAMBA

N° de Informe: 28
Sector económico: 28 LACAN
Localidad del sector:

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

N°	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	28.a	sin nombre	Lata-Panamonzana Sur
2	28.b	Molinos y Carrocenas Orzoco	Lata-Panamonzana Sur
3	28.c	Carrocenas Orzoco	Panamonzana sur km.3 y 3/2 via nacional





ESPOCH

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Grupo de Investigación de Tecnologías Energéticas



ESPOCH

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Grupo de Investigación de Tecnologías Energéticas

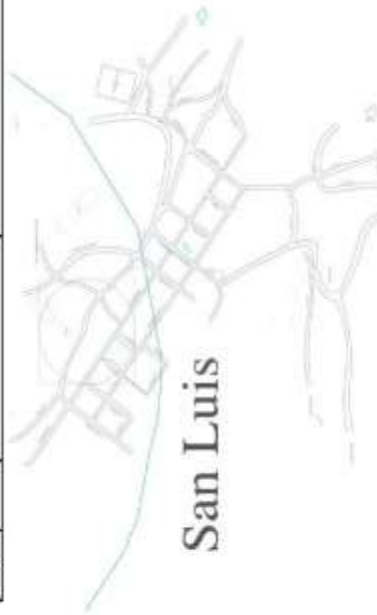


DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

Nº de Informe: 31
Sector sectorial: 31 SAN LUIS
Límite del sector: -

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

Nº	Código	Nombre del establecimiento Pro se in control establecimientos	Dirección del establecimiento
1			
2			



San Luis

DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

Nº de Informe: 30
Sector sectorial: 30 QUIMIAG
Límite del sector: -

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

Nº	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	30.a	Terranova	Terranova de aguas
2	30.b	Atopá yerra Pastor	Barro cocha
3	30.c	Comunidad Paredes	Av. Cochura

Quimiag QUIMIA'





ESPOCH

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Grupo de Investigación de Tecnologías Energéticas



ESPOCH

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Grupo de Investigación de Tecnologías Energéticas

DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIORAMBA

Nº de Informe: 33
Sector evaluado: 33 FLORES
Lugar del sector: .

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

Nº	Código	Nombre del establecimiento	Estado del aprovechamiento
1.		No se encontró establecimiento	
2.			

FLORES



Nº de Informe: 32
Sector evaluado: 32 PUNÍN
Lugar del sector: .

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

Nº	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1.		No se encontró establecimiento	
2.			

PUNÍN





ESPOCH



ESCUOLA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

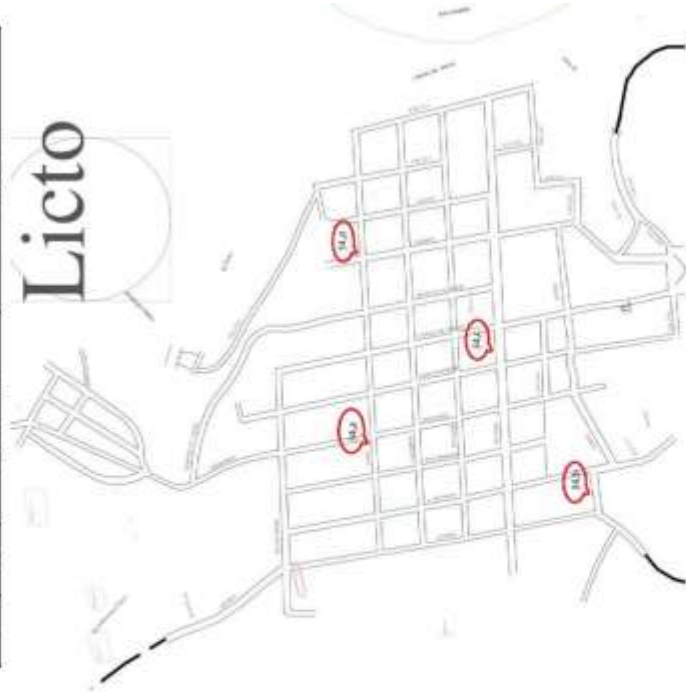
DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

N° de Informe: 34
Sector evaluado: 34 LICTO
Límite del sector:

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

N°	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	34.a	Compañía de Vidrio Aceroacero	Riobamba y Procelo
2	34.b	Industria San Pedro	Primer de Mayo y Elgujo
3	34.c	Compañía de Benjamín Guzmán	Estívar y González Suárez
4	34.d	Compañía Alcega	Buena y Orense

Licto



ESPOCH



ESCUOLA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

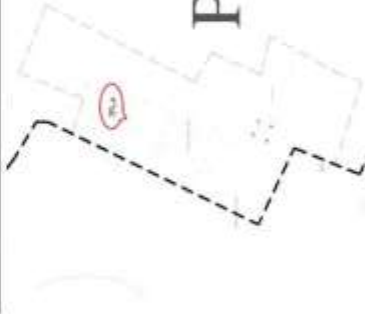
DIAGNÓSTICO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS FORESTALES PARA USO ENERGÉTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA

N° de Informe: 35
Sector evaluado: 35 PUNGALA
Límite del sector:

LISTA DE LOCALES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

N°	Código	Nombre del establecimiento	Dirección del establecimiento
1	35.a	Compañía Esmil	Sereña y Casapico

Pungala



(Fuente: Propia)

Anexo 13. Cromatografía de gases realizadas en el laboratorio de la EPN.



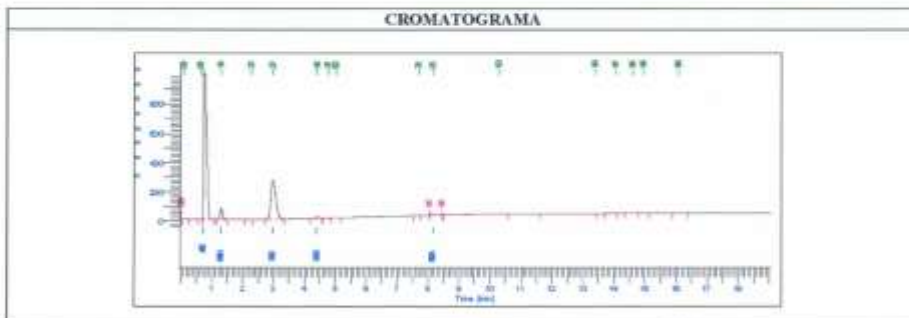
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
 LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL

SUPLEMENTO DEL REPORTE DE ANÁLISIS LAI-17-039
 OT. 5284

DATOS GENERALES			
Muestra	Gas de síntesis	Fecha de inicio del ensayo	18/07/2017
Cliente	Lamin Orozco	Fecha final del ensayo	20/07/2017
Fecha de recepción de muestra	18/07/2017	Fecha de impresión	27/07/2017
Observaciones	El laboratorio no se responsabiliza por la toma ni almacenamiento de la muestra antes de llegar a las instalaciones de la Institución		

CONDICIONES DE TRABAJO			
Temperatura (°C)	20	Norma de referencia	ASTM D 1945-03 (2010)

RESULTADOS				
COMPOSICIÓN	COMPONENTE		% Peso	% Moles
	Hidrógeno		1.98	26.28
	Oxígeno		0.33	0.28
	Nitrógeno		17.16	16.38
	CO		7.40	7.06
	Metano		4.56	7.60
	CO2		66.99	40.70
	Etano		1.11	0.99
	Agua		0.48	0.71
	Total		100.00	100.00
PROPIEDADES	Densidad relativa		0.93	
	Peso molecular promedio [g/mol]		26.74	
	*Poder calorífico superior a 25°C [Btu/lb]		2864.95	
	*Poder calorífico inferior a 25°C [Btu/lb]		2229.13	



Ing. Lucia Montenegro	Ing. Gabriela Pérez
Jefa del Laboratorio de Análisis Instrumental	Especialista en técnicas de Análisis Químico

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL
 Quito - Ecuador

ORDEN DE EMPASTADO