

CÁLCULO DEL CAMBIO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA AL PRODUCIR  
G.L.G DE ALTA DENSIDAD UTILIZANDO CAPTADORES SOLARES COMO  
PRE-CALENTADORES

JEISON FERNEY COLLAZOS CARDENAS  
LUIS GABRIEL DIAZ SANTACRUZ

FUNDACION UNIVERSITARIA LUMEN GENTIUM  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA  
PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA INDUSTRIAL  
SANTIAGO DE CALI

2022

CÁLCULO DEL CAMBIO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA AL PRODUCIR  
G.L.G DE ALTA DENSIDAD UTILIZANDO CAPTADORES SOLARES COMO  
PRE-CALENTADORES

JEISON FERNEY COLLAZOS CARDENAS  
LUIS GABRIEL DIAZ SANTACRUZ

Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Industrial

Director  
NESTOR MAURICIO CASTAÑEDA  
Ingeniero Mecánico  
Magister en Ingeniería Industrial

FUNDACION UNIVERSITARIA LUMEN GENTIUM  
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERÍA  
PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA INDUSTRIAL  
SANTIAGO DE CALI

2022

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Fundación Universitaria Lumen Gentium para optar al título de:

---

Jurado

---

Jurado

Santiago de Cali, 30 de noviembre del 2022

## DEDICATORIA

A nuestras madres, por su apoyo y confianza en este camino.

## AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor Néstor Mauricio Castañeda, por la confianza y la responsabilidad brindadas para encaminarnos en el desarrollo de este proceso investigativo, por darnos el aliento y las correcciones oportunas para seguir adelante y culminar este proceso.

También, a los demás maestros, John Edwar Ordoñez, Carlos William y Guillermo Peñaranda, quienes siempre estuvieron prestos a dar su apoyo y su conocimiento aclarando las dudas frente a temas que superaban nuestro conocimiento, siempre con la mayor disposición y energía.

.

## CONTENIDO

	pág.
GLOSARIO .....	14
RESUMEN .....	16
INTRODUCCIÓN .....	18
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	20
1.1 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	22
1.2 SISTEMATIZACIÓN .....	22
2. JUSTIFICACIÓN .....	23
2.1 ALCANCE .....	24
2.2 LIMITACIONES.....	24
2.3 IMPACTO SOCIAL .....	25
2.4 IMPACTO AMBIENTAL .....	25
2.5 IMPACTO ECONÓMICO .....	25
2.6 RESULTADOS Y PRODUCTOS DEL PROYECTO .....	26
3. OBJETIVOS .....	27
3.1 GENERAL.....	27
3.2 ESPECIFICOS.....	27
4. ESTADO DEL ARTE .....	28
4.1 ESTADO DEL ARTE DE LA GUADUA COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE .....	28
4.2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA DE PRODUCIR TABLÓN DE ALTA DENSIDAD EN GLG.....	29
4.3 ANÁLISIS ENERGÉTICO Y AMBIENTAL EN LA PRODUCCIÓN DE TABLEROS DE ESTERILLA DE GUADUA LAMINADA .....	30
4.4 DISEÑO DE CAPTADOR SOLAR CILINDRO PARABÓLICO PARA APLICACIONES RURALES EN PARAGUAY.....	31
5. MARCO REFERENCIAL.....	33

5.1 MARCO TEÓRICO .....	33
5.1.1 ENERGÍA SOLAR.....	33
5.1.2 CAPTADORES SOLARES .....	35
5.1.2.2 CAPTADORES SOLARES DE TUBO DE VACÍO .....	37
5.1.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	41
5.1.4 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLES.....	43
5.2 MARCO CONCEPTUAL .....	45
• GLUED LAMINATED GUADUA: .....	45
5.3 MARCO CONTEXTUAL .....	46
5.4 MARCO LEGAL.....	47
5.4.1 PROTOCOLO DE KIOTO.....	47
5.4.2 ACUERDO DE PARIS .....	49
5.4.3 LEY URE.....	49
5.4.4 LEY 1715 DE 2014 .....	50
6. METODOLOGÍA .....	51
6.1 TIPO DE ESTUDIO.....	51
6.2 METODO DE INVESTIGACIÓN .....	51
6.3 FUENTES Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN.....	52
7. CARACTERIZACION DEL PROCESO PRODUCCION GLG ALTA	
DENSIDAD ACTUAL EN TERMINOS DE EFICIENCIA .....	53
7.1 PROCESO PRODUCCIÓN GLG DE ALTA DENSIDAD GENERAL.....	53
7.1.1 CORTE ESTERILLADO LATILLADO .....	54
7.1.2 CEPILLADO.....	55
7.1.3 DESFIBRADO.....	55
7.1.4 PRESERVADO O INMUNIZADO.....	56
7.1.5 SECADO.....	58
7.1.6 MOLDEADO Y PRENSADO .....	58
7.2 REQUERIMIENTOS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE GLG DE ALTA	
DENSIDAD .....	59
7.2.1 PRODUCTO FINAL .....	59

7.2.2 MATERIA PRIMA.....	61
7.2.3 CEPILLADO.....	63
7.2.4 DESFIBRADO.....	64
7.2.5 PRESERVADO O INMUNIZADO.....	64
7.2.6 SECADO.....	66
7.2.7 MOLDEADO Y PRENSADO.....	67
7.2.8 IDENTIFICACIÓN DE FASES DE CALOR.....	69
7.3 CÁLCULOS DE CALOR REQUERIDO.....	69
7.3.1 CALOR REQUERIDO POR LA FASE DE PRESERVADO O INMUNIZADO.....	70
7.3.2 CALOR REQUERIDO EN LA FASE DE SECADO.....	71
7.3.3 CALOR REQUERIDO EN LA FASE DE PRENSADO.....	73
7.3.4 CALOR REQUERIDO POR EL FLUIDO CALOPORTADOR.....	74
7.4 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO PRODUCCIÓN GLG ALTA DENSIDAD ACTUAL.....	75
8. DETERMINACIÓN DEL TIPO DE COLECTOR Y SU POTENCIA PARA SUPLIR LA DEMANDA ENERGÉTICA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE GLG DE ALTA DENSIDAD.....	78
8.1 OFERTA ENERGÉTICA.....	78
8.2 CALCULOS PARA EL COLECTOR CILINDRO PARABÓLICO COMPACTO.....	79
8.2.1 PARÁMETROS DE PARTIDA.....	80
8.2.2 CAUDAL DE ACEITE THERMINOL VP-1 POR FILA CPC.....	81
8.2.3 INCREMENTO DE TEMPERATURA DEL FLUIDO DEL COLECTOR.....	83
8.2.4 CANTIDAD DE COLECTORES REQUERIDOS.....	87
8.2.5 POTENCIA UTIL DEL CPC.....	87
8.3 ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL COLECTOR CPC ROPUESTO.....	88
8.4 DISEÑO DEL COLECTOR CILINDRO PARABÓLICO COMPACTO.....	89
9. VARIACIÓN EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE GLG DE ALTA DENSIDAD EN TÉRMINOS TÉRMICOS Y FINANCIEROS.....	91
9.1 EFICIENCIA PROCESO GLG ACTUAL.....	91

9.2 CAPACIDAD APORTADAD POR EL CPC .....	93
9.3 VARIACION DE LA EFICIENCIA PROCESO GLG USANDO UN CPC .....	93
9.3.1 COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL CPC.....	94
9.3.2 PROYECCIONES DE AHORRO .....	95
9.3.3 VIABILIDAD Y FACTIBILIDAD (VPN Y TIR).....	96
10. CONCLUSIONES .....	99
11. RECOMENDACIONES .....	102
BIBLIOGRAFÍA.....	103
ANEXOS.....	109

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Colector cilindro parabólico compacto CPC.....	32
Figura 2. Irradiación solar Colombia. ....	34
Figura 3. Colector de placa plana sin cubierta. ....	36
Figura 4. Colector de placa plana con cubierta. ....	36
Figura 5. Colector de tubo de vacío de flujo directo. ....	37
Figura 6. Colector de tubo de vacío de heat pipe. ....	38
Figura 7. Colector cilindro parabólico compacto. ....	39
Figura 8. Colector parabólico o paraboloide. ....	40
Figura 9. Torres de concentración. ....	41
Figura 10. Posición países frente al tratado de Kioto año 2009. ....	48
Figura 11. Metodología por fases. ....	52
Figura 12. Etapas del proceso de fabricación GLG alta densidad. ....	53
Figura 13. Corte esterillado latillado. ....	54
Figura 14. Cepillado. ....	55
Figura 15. Desfibrado trapichado. ....	56
Figura 16. Preservado. ....	57
Figura 17. Inmunizado. ....	57
Figura 18. Secado. ....	58
Figura 19. Prensado. ....	59
Figura 20. Fases térmicas GLG. ....	69
Figura 21. Colector CPC Eurotrough SKAL-ET 150. ....	79
Figura 22. Diseño del colector cilindro parabólico. ....	90

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Valores de módulos de resistencia de la guadua compara con otras maderas.....	29
Tabla 2. Valores de módulos de resistencia de la guadua compara con otras maderas.....	30
Tabla 3. Contribución en kg de CO <sub>2</sub> e por entradas con quema de biomasa de guadua.....	31
Tabla 4. Contribución en kg de CO <sub>2</sub> e por entradas con quema de gas natural en escenario alternativo.....	31
Tabla 5. Características producto final.....	60
Tabla 6. Composición producto final.....	60
Tabla 7. Características maría prima.....	61
Tabla 8. Cantidad guaduas requeridas proceso.....	61
Tabla 9. Producción / Requerimiento por horas.....	62
Tabla 10. Producción / Requerimiento por periodo.....	62
Tabla 11. Cantidad guaduas entrante cepillado.....	63
Tabla 12. Cantidad guaduas saliente cepillado.....	63
Tabla 13. Cantidad guaduas entrante desfibrado.....	64
Tabla 14. Cantidad guaduas saliente desfibrado.....	64
Tabla 15. Cantidad guaduas entrante inmunizado.....	65
Tabla 16. Masa entrante inmunizado.....	65
Tabla 17. Masa saliente inmunizado.....	66
Tabla 18. Masa entrante secado.....	66
Tabla 19. Masa saliente secado.....	67
Tabla 20. Masa entrante prensado.....	68
Tabla 21. Composición final tablón.....	68
Tabla 22. Característica final tablón.....	68
Tabla 23. Calor requerido preservado.....	71

Tabla 24. Potencia requerida preservado .....	71
Tabla 25. Calor requerido secado.....	72
Tabla 26. Potencia requerida secado. ....	73
Tabla 27. Masa entrante prensado. ....	73
Tabla 28. Calor requerido prensado. ....	74
Tabla 29. Potencia requerida prensado. ....	74
Tabla 30. Potencia requerida liquido caloportador.....	75
Tabla 31. Calor requerido por fase. ....	75
Tabla 32. Potencia requerida por fase. ....	76
Tabla 33. Gas natural requerido. ....	76
Tabla 34. Eficiencia proceso GLG alta densidad actual.....	77
Tabla 35. Irradiación Solar Cali.....	78
Tabla 36. Características físicas colector CPC Eurotrough SKA- ET 150. ....	80
Tabla 37. Especificaciones técnicas CPC Eurotrough SKAL-ET 150. ....	89
Tabla 38. Eficiencia proceso GLG alta densidad actual.....	92
Tabla 39. Capacidad del CPC Eurotrough SKAL-ET 150. ....	93
Tabla 40. Costo teórico producción ambos escenarios. ....	94
Tabla 41. Inversión inicial. ....	95
Tabla 42. Escenarios ahorro propuestos. ....	95
Tabla 43. Detalle amortización escenario 1. ....	96
Tabla 44. Detalle amortización escenario propuesto .....	97
Tabla 45. Detalle amortización escenario 7 (40%).....	98

## LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo 1. Propiedades vs temperatura Therminol VP-1 .....	109
Anexo 2. Tarifas gas natural valle del Cauca.....	111
Anexo 3. Amortización crédito .....	112
Anexo 4. Escenario monto máximo viable .....	113
Anexo 5. Plan pagos, amortización escenario propuesto .....	114
Anexo 6. Plan pagos, amortización escenario 7 al 40% .....	115

## GLOSARIO

Glued Laminated Guadua: Siglas del inglés de Glued Laminated Guadua, que significan, Laminado de Guadua Encolada

Colector solar: Conjunto de elementos dispuestos para la captación y transformación de irradiación solar en energía termina

Captador solar: Placa receptora de la radiación solar que forma parte de colector solar. Algunos textos emplean el termino captadores o colectores, la diferencia técnica es que el colector es el conjunto de elementos y el captador se refiere a la placa receptora de la radiación. Para este trabajo los términos hacen referencia al conjunto.

Smog: Se trata de una forma de contaminación atmosférica debido, principalmente, a las emisiones de los coches, de fábricas e incluso a la combustión de carbón, unión de las palabras en inglés «smoke» (humo) y «fog» (niebla).

OLADE: Organización Latinoamericana de Energía.

CEPAL: Comisión Económica para América Latina.

GTZ: Cooperativa Técnica Alemana

CONAE: Comisión Nacional de Energía.

PROCEL: Programa de Combate al Desperdicio de Energía Eléctrica.

PAE: Programa de Ahorro de Energía.

PROURE: Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales en Colombia

ODS: Sigla de Objetivos de Desarrollo Sostenible

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono

CH<sub>4</sub>: Metano

N<sub>2</sub>O: Óxido nitroso

HFC: Hidrofluorocarbonos

PFC: Perfluorocarbonos

SF<sub>6</sub>: Hexafluoruro de azufre

URE: Unidades de Reducción de Emisiones

FNCE: Fuentes No Convencionales de Energía

FNCER: Fuentes No Convencionales de Energía Renovable

## RESUMEN

Se cálculo la eficiencia energética al producir laminado de guadua (GLG) de alta densidad, utilizando un colector solar como fuente complementaria, alternativa y/o sustituta para la generación de la energía térmica usada en el proceso de producción. Teniendo en cuenta que dicho proceso consume una gran cantidad de energía eléctrica y térmica en sus subprocesos, siendo esta última utilizada para **3** de las **fases más importante**, las cuales son: el Curado, secado y prensado de la materia prima. Estos subprocesos actualmente obtienen la energía térmica con el consumo de combustibles fósiles, como el gas natural y/o con la quema de desecho de guadua, ambos generadores de grandes cantidades de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, los cuales afectan directamente al medio ambiente y, además generan costos significativos en la producción.

Para evaluar el impacto energético que tendría la implementación de un colector solar en el proceso de producción de (GLG) como sustituto, complemento y/o alternativa de generación de energía térmica en los subproceso anteriormente mencionados, se planteó una metodología de desarrollo por fases en las cuales se caracterizó el proceso de producción de (GLG) actual; se identificó, definió y calculo el tipo de colector solar acorde a la necesidad energética y posteriormente se validó la variación de la eficiencia energética de dicho proceso en términos energéticos y financieros. Con esta última se estableció que para apalancar la inversión con el ahorro total por consumo de gas natural serían necesarios 12 años, este escenario, aunque viable, no representa una factibilidad financiera, por lo cual, se evaluaron los escenarios al 40 % de ahorro y al 100 % con reducción del monto de la inversión.

**Palabras clave:** Colector, Eficiencia, Energética, G.L.G, Solar, Térmica.

## ABSTRACT

The energy efficiency was calculated when producing high-density guadua laminate (GLG), using a solar collector as a complementary, alternative and/or substitute source for the generation of thermal energy used in the production process. Taking into account that this process consumes a large amount of electrical and thermal energy in its threads, the latter being used for **3** of the **most important phases**, which are: Curing, drying and pressing of the raw material. These threads currently obtain thermal energy with the consumption of fossil fuels, such as natural gas and/or with the burning of guadua waste, both generators of large amounts of carbon dioxide CO<sub>2</sub>, which directly affect the environment and, in addition, generate significant costs in production.

To evaluate the energy impact that the implementation of a solar collector would have in the production process of (GLG) as a substitute, complement and/or alternative for the generation of thermal energy in the previously mentioned sub-processes, a phased development methodology was proposed in which the current (GLG) production process was characterized; the type of solar collector was identified, defined and calculated according to the energy need and subsequently the variation of the energy efficiency of said process in energy and financial terms was validated. With the latter, it was established that 12 years would be necessary to leverage the investment with the total savings from natural gas consumption. This scenario, although viable, does not represent financial feasibility, for which the scenarios were evaluated at 40 % savings and 100 % with reduction of the investment amount.

**Keywords:** Collector, Efficiency, Energy, G.L.G, Solar, Thermal.

## INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento del sector industrial y la acelerada carrera por eficiencia en la productividad, se traduce en hacer más aprovechando al máximo los recursos y reduciendo los costos de fabricación (Molina & Castro, 2015, p. 94). Para ello las compañías buscan perfeccionar sus procesos de producción, pero sin descuidar factores primordiales como: La calidad de los productos; La investigación; El desarrollo y el impacto social y ambiental que todo proceso industrial conlleva.

El proceso de producción del Laminado de Guadua Encolada (G.L.G) por sus siglas en inglés (Glued Laminated Guadua), permite el procesamiento de la Guadua (Bambú de la familia *Angustifolia Rolliza Rolliza*), aprovechando sus características físicas como, la variación de su peso según el clima, y sus propiedades mecánicas como, la resistencia a la flexión y la compresión (Moreno & Cendales, 2018, p. 18 y 34). Para ser utilizada como sustituta de la madera convencional tanto en la construcción estructural o civil (Asociación colombiana de ingeniería sísmica (AIS), 2010, p. 107). Como en la generación de bienes inmuebles (Zapata & Bustos, 2004, p. 67-75).

Dicho proceso consta varias etapas acordes al tipo de producto terminado que se desarrolle, GLG de baja o media densidad y alta densidad, los cuales según (Correa & Montero, 2013, p. 38) y (Castañeda, 2018, p. 48). Puede variar entre 15 y 6 fases, de las cuales en consenso entre ambos autores se pueden resaltar los siguientes procesos, denominados i. Corte, ii. Cepillado, iii. Desfibrado, iv. Preservado, Inmunizado y/o Curado, v. Secado vi. Moldeado y Prensado, procesos que consumen energía eléctrica y térmica en su ejecución.

En estas fases y en el ejercicio del mejoramiento y desarrollo continuo de la industria, el cálculo de la eficiencia del proceso de producción de (GLG) y el análisis

de los impactos en los consumos térmicos del mismo, podrían presentar un campo de acción con oportunidades para efectuar mejoras en el proceso, a partir de la búsqueda de nuevas fuentes de energía, la sustitución de las fuentes de energía actuales y/o la incorporación al proceso de fuentes alternas y renovables como la energía térmica solar, que serviría de apoyo para la reducir del consumo de la fuente de energía tradicional (gas natural y la combustión de biomasa).

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La actividad económica de Colombia está dividida en los sectores primarios, secundario y terciario, nuestra industria sigue soportada en mayor medida en el sector primario, con la agricultura, la pesca, la ganadería la silvicultura y la caza, no obstante, el segundo pilar económico de este país es el sector industrial, según (Díaz, 2011, p. 19). En este encajan la minería y explotación de petróleo, pero también la conversión de materias primas en nuevos productos, así pues, podemos encontrar diversas empresas dedicadas a la transformación de materias primas de tipo animal, mineral, fósil y vegetal, particularmente en este último, la madera y otras plantas sustitutas de ella, como la guadua.

Sin embargo, el sector dedicado al aprovechamiento de la guadua en Colombia es reducido, según (Torres & Florez, 2017, p. 83). En este existen empresas como: Induguaduas y Eco-Bamboo, dedicada a la siembra, cosecha y venta de guadua; Eco-tableros, dedicada al procesamiento y transformación de guadua en tableros sustitutos de la madera y, por último, Guadua Bambú Colombia, dedicada al aprovechamiento arquitectónico de los tableros de guadua. Al ser un reducido sector, estas empresas enfrentan grandes retos de sostenibilidad y están en búsqueda de estrategias que les permitan permanecer en el mercado de forma competitiva.

Como indica (Adriana et al., 2013, p. 119). El mejoramiento continuo y la búsqueda de la eficiencia energética son objetivos de alto impacto en cualquier industria, por lo cual, se asume que la industria de producción de G.L.G, trabaja en pro de dichos objetivos. De este modo, y con base los estudios realizados en este sector industrial, sobre todo el del “Análisis Energético y Ambiental en la Producción de Tableros de Esterilla de Guadua Laminada G.L.G” (Correa & Montero, 2013, p. 50-58). Se determinó, que este proceso de producción es consumidor de grandes cantidades

de energía, no solo eléctrica si no también térmica, esta última requerida en los subprocesos de preservado para la inmunización de la guadua; en el secado para la eliminación de porcentaje de humedad de la guadua inmunizada y en el prensado y curado para la compactación de la fibra de guadua con presión y calor.

Dicha energía térmica es aportada al proceso por una caldera, que para generar la cantidad de calor requerido es alimentada con combustibles fósiles, como el gas natural y/o los residuos de guadua que produce la operación. Ambos insumos generalmente relacionados con la contaminación ambiental, tanto por el método de explotación mineral para la extracción del gas natural (Charry & Perez, 2017, p. 144). Como, por la generación de emisiones nocivas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que afectan la capa de ozono.

Es decir que, hoy en día la industria de producción de G.L.G que actualmente emplea una caldera a base de gas natural y/o quema de residuo como combustible, no presenta una alternativa amigable con el medio ambiente para la generación de la energía térmica que su proceso productivo demanda. Actualmente los costos económicos del consumo de gas natural y el uso de residuos de guadua requeridos por el proceso de producción son relativamente bajos, sin embargo, a futuro la industria podría presentar alzas en los costos de adquisición de este combustible como lo indica (Comision de Regulacion de Energia y Gas CREG, 2005, p. 13-60). Así como, restricciones ambientales por la quema de estos residuos. Teniendo en cuenta lo anterior y con el objetivo de impactar positivamente los posibles inconvenientes planteados, se propuso determinar el cambio en la eficiencia energética en el proceso de producción de (GLG) de alta densidad usando un captador solar como fuente de energía térmica en los subprocesos térmicos.

## 1.1 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cómo determinar el impacto en la eficiencia energética en el proceso de producción de laminado de guadua (GLG) de alta densidad utilizando captadores solares como fuente de energía en los subprocesos térmicos?

## 1.2 SISTEMATIZACIÓN

¿Cuál es la eficiencia energética del proceso de producción de GLG de alta densidad actual?

¿Cuál es el tipo de colector y su potencia para suplir la demanda energética del proceso de producción de GLG de alta densidad?

¿Cuál es la variación en la eficiencia energética en el proceso de producción de GLG de alta densidad en términos térmicos y financieros

## 2. JUSTIFICACIÓN

La mejora continua, optimización, estandarización y la búsqueda de la eficiencia energética son pilares de los procesos productivos de las industrias en general. Dicho esto, hemos de reconocer que todas las empresas sin importar el sector en el que se encuentren buscan alcanzar el más alto nivel de eficiencia para aumentar su rentabilidad. En consecuencia, constantemente se implementan métodos de mejora continua como Kaizen, 5s, Lean Manufacturing, entre otros, sin embargo, existen instancias en las que además de perfeccionar los procesos y procedimientos, también es necesario mejorar la infraestructura y repotenciar o renovar la tecnología aplicada en dichos procesos, es en este último escenario que comúnmente se encuentran los grandes avances para el crecimiento y desarrollo de las empresas, y por ende el aumento de la productividad y de la eficiencia, pero, las pequeñas y medianas empresas no siempre cuentan con los recursos necesarios para el estudio de desarrollos e invocación que instituyan los pasos a seguir hacia el futuro. Es por eso, que las empresas del reducido y decreciente sector de la producción de (GLG) de alta densidad en Colombia están abiertas al estudio y la implementación de desarrollo que les permitan aumentar su competitividad y potencializar su crecimiento.

De acuerdo con lo anterior se evidencio la necesidad de realizar un estudio para determinar el cambio en la eficiencia energética en el proceso de producción de laminado de guadua (GLG) de alta densidad utilizando un captador solar como fuente de energía en los subprocesos térmicos, en el cual se constituyan los parámetros y requerimientos necesarios para dicho fin.

## 2.1 ALCANCE

Se realizó un estudio para determinar el cambio en la eficiencia energética en el proceso de producción de (GLG) de alta densidad al utilizar un captador solar como fuente de energía alterna, complementaria y/o sustituta en los subprocesos térmicos, caracterizando del proceso de producción actual, precisando los consumos de energía térmica usada y la fuente de la misma, para posteriormente determinar las fluctuaciones que podría presentar dicho proceso al implementar un captador solar como fuente de energía.

## 2.2 LIMITACIONES

Este proyecto se enfocó en el sector transformador de la Guadua en Colombia, como lo son las empresas Induguaduas, Eco-tableros y Eco-Bamboo, dedicadas a siembra, cosecha y la producción de GLG de baja densidad, así como las empresas de alta densidad. Estas empresas actualmente presentan un proceso de producción similar, que se ha mantenido en el tiempo sin mayores transformaciones gracias su efectividad, sin embargo, la falta de innovación es una de las principales causas del poco crecimiento del sector.

Esto debido a que los métodos usados para la transformación de la guadua son empíricos, acompañados de herramientas artesanales diseñadas a la medida de la necesidad que el proceso plantea, pero sin presentar un futuro desarrollo innovador que se equipare a los encontrados en industrias del mismo sector en Europa y Asia. De este modo estas empresas colombianas están limitadas para dedicar un espacio a la búsqueda de alternativas tecnológicas innovadoras que permitan la optimización de sus procesos, así como la mejora en su eficiencia energética.

Teniendo en cuenta lo anterior se presentaron limitantes relacionadas con la falta de acceso a empresas del sector para realizar la caracterización de los procesos o

la dificultad para encontrar información documentada relevante sobre las practicas, procesos y procedimiento que estas empresas llevan a cabo en su cadena de valor. Por otra parte, se presentaron limitantes al efectuar cálculos relacionados con la energía térmica necesaria en los procesos debido al no establecimiento de las variables necesarias para ello.

### 2.3 IMPACTO SOCIAL

El cálculo del cambio en la eficiencia energética del proceso de producción de GLG de alta densidad usando un colector solar como precalentador en los procesos térmicos, presento una alternativa viable al consumo de combustibles fósiles que actualmente utiliza dicho proceso, de tal forma que las empresas del sector productor de GLG pueden evaluar la posibilidad de implementar una fuente de energía alternativa, complementaria y/o sustituta, en algunos de sus procesos térmicos, como un colector solar, para disminuir los costos en consumos de la fuente de energía tradicionalmente usada (Gas Natural), minimizando el impacto ambiental al también reducir la quema de residuos orgánicos (Residuos de guadua) que producen smog y de esta forma disminuir su huella de carbono frente a su entorno.

### 2.4 IMPACTO AMBIENTAL

Al incluir una fuente de energía alterna de carácter renovable como un captador solar en el proceso de producción de GLG, se espera que se impacte positivamente la curva de emisiones toxicas, como el CO<sub>2</sub>, y correlacional mente la huella de carbono que esta empresa emite a su entorno.

### 2.5 IMPACTO ECONÓMICO

Al incluir una fuente de energía alternativa, complementaria y/o sustituta de carácter renovable como un captador solar en el proceso de producción GLG, se podría reducir el consumo de combustibles fósiles como el gas natural que actualmente

utiliza dicho proceso, lo que conllevaría a un ahorro directo en sus costos por el consumo de dicho servicio.

## 2.6 RESULTADOS Y PRODUCTOS DEL PROYECTO

El estudio para determinar el cambio en la eficiencia energética en el proceso de producción de GLG de alta densidad utilizando captadores solares como fuente de energía térmica en los subprocesos térmicos permitió.

La caracterización del proceso actual, determinando cuál es el flujo del proceso y cuál es su relevancia en la organización, de tal forma que se logró establecer el consumo energético actual, para así posteriormente presentar una fuente alterna de energía renovable (captador solar) que sobrelleve la carga energética actual y contribuya al aumento de la eficiencia.

Además, el estudio documentado sirve como soporte y guía para futuros análisis en empresas del sector, permitiendo de forma clara su implementación y homologación en casos similares.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 GENERAL**

Determinar el impacto en la eficiencia energética en el proceso de producción de laminado de guadua (GLG) de alta densidad utilizando captadores solares como fuente de energía en los subprocesos térmicos.

#### **3.2 ESPECIFICOS**

- Caracterizar el proceso actual de producción de GLG de alta densidad en términos de su eficiencia energética.
- Determinar el tipo de colector y su potencia para suplir la demanda energética del proceso de producción de GLG de alta densidad.
- Establecer la variación en la eficiencia energética en el proceso de producción de GLG de alta densidad en términos térmicos y financieros

## **4. ESTADO DEL ARTE**

Para determinar el cambio en la eficiencia energética en el proceso de producción de (GLG) de alta densidad utilizando un captador solar como fuente de energía en los subprocesos térmicos, se consultaron antecedentes históricos que esclarecieran y aportaran a la temática tratada en este documento, a continuación, se presentan algunos de ellos.

### **4.1 ESTADO DEL ARTE DE LA GUADUA COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

Esta investigación nos presenta el estudio detallado de la guadua en general, haciendo énfasis en su diversidad y las características físicas y mecánicas que esta presenta, para ser catalogada como un material de infraestructura arquitectónica alternativa, haciendo un recuento histórico del aprovechamiento e implementación de esta planta en el desarrollo estructural de Colombia y las normativas que rigen tales desarrollos (Builes & Giraldo, 2011). Esta investigación aporta a nuestro proyecto información significativa sobre la materia prima Guagua, como el peso específico, la tracción, compresión y flexión del material en comparación con otros similares, ver Tabla 1, además esta investigación reafirma la factibilidad de usar Guaduas estructuralmente con un factor de sostenibilidad ambientalmente amigable.

Tabla 1. Valores de módulos de resistencia de la guadua compara con otras maderas.

MATERIAL	RESISTENCIA A TRACCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		RESISTENCIA A LA FLEXIÓN
		Perpendicular a la fibra	Paralela a la fibra	
Guadua	430 kg/cm <sup>2</sup>	560 kg/cm <sup>2</sup>	650 kg/cm <sup>2</sup>	740 kg/cm <sup>2</sup>
Aliso	108 kg/cm <sup>2</sup>	68 kg/cm <sup>2</sup>	357 kg/cm <sup>2</sup>	460 kg/cm <sup>2</sup>
Arboloco	Entre 500 y 1 500 kg/cm <sup>2</sup>	132 kg/cm <sup>2</sup>	405 kg/cm <sup>2</sup>	390 kg/cm <sup>2</sup>
Otras maderas	1 000 kg/cm <sup>2</sup>	Entre 50 y 144 kg/cm <sup>2</sup>	400 kg/cm <sup>2</sup>	Entre 500 y 720 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: (Builes & Giraldo, 2011, p. 37).

#### 4.2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA DE PRODUCIR TABLÓN DE ALTA DENSIDAD EN GLG

Esta investigación determinó la factibilidad técnica y financiera de producir tablonos de alta densidad fabricados bajo el proceso de guadua laminada encolada que se conoce como (GLG). Como primera medida se determinaron las características que tienen los tablonos, con esta información se definieron sus usos, se evaluó la oportunidad de mercado en Colombia como un sustituto a las maderas tradicionales y su posible diferenciación frente a competidores. Se evaluó la disponibilidad de la materia prima con proveedores y se enumeraron los pasos para su producción, entre las operaciones se establecieron los tiempos de producción, las maquinas necesarias y los recursos que se necesitan determinando si técnicamente es posible su realización. Como fase final se calculó la tasa de oportunidad para un inversionista mediante el costo medio ponderado de capital, se establecieron las inversiones requeridas, los costos y los comparativos de precios de venta frente a productos sustitutos para evaluar la factibilidad del proyecto desde el punto de vista financiero (Castañeda, 2018). Lo anterior nos permitió identificar las caracterizas del producto final esperado en la producción de GLG de alta densidad, ver Tabla 2, la diferencia entre el proceso de producción para baja y alta densidad que

detallaremos posteriormente, así como la notable oportunidad de mercado que existe para este producto.

Tabla 2. Valores de módulos de resistencia de la guadua compara con otras maderas.

Densidad	1200	kg/m <sup>3</sup>
Volumen	0,195	m <sup>3</sup>
Masa	234	kg

Fuente: (Castañeda, 2018, p. 43).

#### 4.3 ANÁLISIS ENERGÉTICO Y AMBIENTAL EN LA PRODUCCIÓN DE TABLEROS DE ESTERILLA DE GUADUA LAMINADA

Este proyecto presenta el estudio hecho a una empresa colombiana productora de tableros de esterilla de guadua laminada. El estudio se centra en la evaluación del aspecto energético y ambiental asociado a los procesos, materiales y maquinaria involucrados en la planta de producción de esta empresa. Para la evaluación del aspecto energético se consideran los lineamientos de la gestión energética con el fin estimar la cantidad y el tipo de consumos energéticos que representa la elaboración de este producto y para la evaluación del aspecto ambiental se emplea la metodología de análisis de ciclo de vida, con el fin estimar el impacto ambiental que representa la elaboración del producto final enfocado a la cuantificación del CO<sub>2</sub> producido, para esto se utiliza la categoría de impacto ambiental cambio climático (Correa & Montero, 2013). Dicho consumo de CO<sub>2</sub> se observa en las siguientes Tabla 3 y Tabla 4.

Tabla 3. Contribución en kg de CO<sub>2</sub>e por entradas con quema de biomasa de guadua

Elemento	Unidad	Cantidad	kg CO <sub>2</sub> e/UF	kg CO <sub>2</sub> e/kg	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
Electricidad	kWh	46,6	10,7	0,331	224,7
Agua	m <sup>3</sup>	0,103	0,0327	0,001	0,69
<sup>1</sup> Guadua	kg	206,2	0	0	0
Hilo de algodón	m	240	0,859	0,027	18,04
Pegante para hilo	g	116	0,244	0,008	5,12
Resina	kg	1,2	4,32	0,134	90,72
<sup>2</sup> Biomasa para calderas	kg	103,6	-193	-5,975	-4053
<sup>3</sup> Biomasa residual	kg	32	59,6	1,845	1251,6
<sup>4</sup> <b>Total</b>			-117	-3,63	-2462,13

Fuente: (Correa & Montero, 2013, p. 69).

Tabla 4. Contribución en kg de CO<sub>2</sub>e por entradas con quema de gas natural en escenario alternativo.

Elemento	Unidad	Cantidad	kg CO <sub>2</sub> e/UF	kg CO <sub>2</sub> e/kg	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	%
Electricidad	kWh	46,6	10,7	0,33	224,7	2,8
Agua	m <sup>3</sup>	0,103	0,0327	0,001	0,69	0,01
<sup>1</sup> Guadua	kg	206,2	0	0	0	0
Hilo de algodón	m	240	0,859	0,027	18,04	0,2
Pegante para hilo	g	116	0,244	0,008	5,12	0,1
Resina	kg	1,2	4,32	0,134	90,72	1,1
<sup>2</sup> Gas Natural	m <sup>3</sup>	46,81	113	3,498	2373	29,6
<sup>3</sup> Biomasa residual	kg	135,6	252	7,802	5292	66,1
<sup>4</sup> <b>Total</b>			381	11,8	8004,27	100

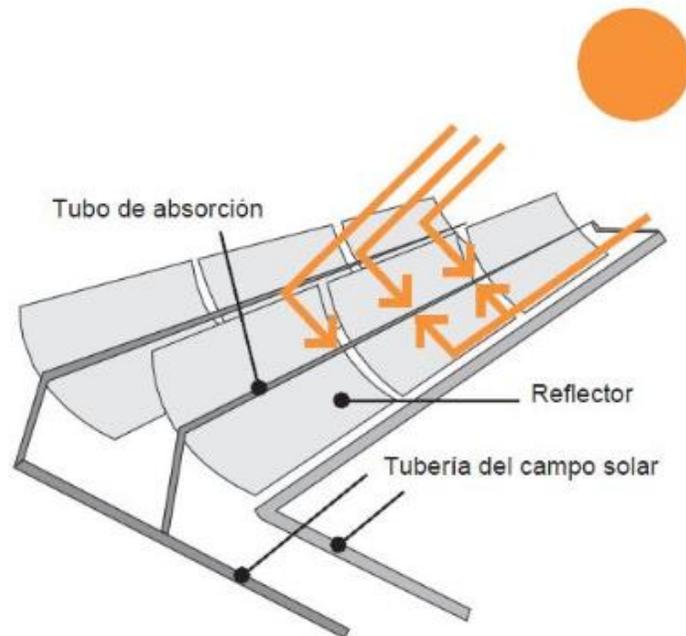
Fuente: (Correa & Montero, 2013, p. 72).

#### 4.4 DISEÑO DE CAPTADOR SOLAR CILINDRO PARABÓLICO PARA APLICACIONES RURALES EN PARAGUAY

Este estudio presenta el diseño de un concentrador solar cilíndrico parabólico para calentamiento de aceite, que posteriormente calentará aire mediante un intercambiador de calor. El aire se canalizará para deshidratar alimentos. Se

estudiaron los diferentes tipos de colectores solares y el recurso solar de la zona. Además, se realiza el diseño estructural del captador y del seguimiento solar de éste, puesto que el destino final del colector es específico. También se analizan las pérdidas y se dota al colector de un rendimiento global. El proyecto se realiza para el Departamento de Alto Paraná, en Paraguay. Por ello está comprendido en un marco de innovación y de cooperación al desarrollo propio del país, con el completo apoyo de ITAIPU-Binacional (Paredes, 2012). Este estudio nos permitió reconocer el tipo de colector solar adecuado para nuestro análisis según el alcance térmico del equipo, además de presentar las variables necesarias para su diseño, a continuación, se referencia el tipo de colector que puede aplicar a nuestro objeto de estudio, ver Figura 1.

Figura 1. Colector cilindro parabólico compacto CPC.



Fuente: (Paredes, 2012, p. 12).

## 5. MARCO REFERENCIAL

La base puntual de los marcos de este proyecto está desarrollada a partir de las investigaciones respectivas que marcan el argumento y desarrollo del proyecto que plantea determinar la variación energética del proceso de producción de GLG de alta densidad al usar un captador solar como precalentador de los temas a manejarse.

### 5.1 MARCO TEÓRICO

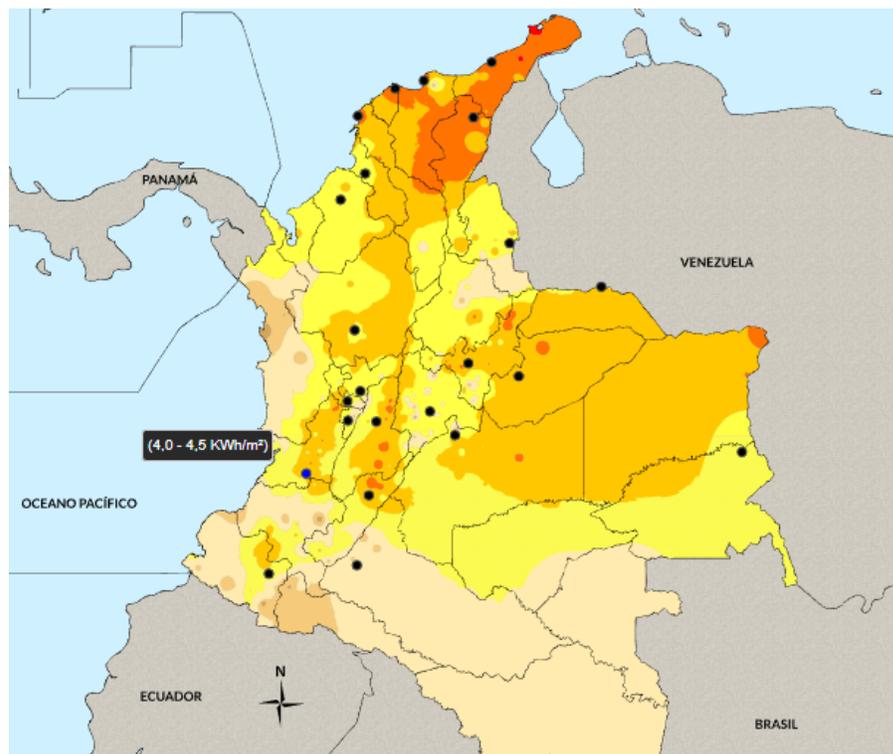
#### 5.1.1 Energía solar

Existen dos grandes tipos de fuentes de energías según (Rodilla, 2010, p. 2). Las renovables y las no renovables, esta última genera residuos y contaminación en su explotación y consumo y se relacionan con los combustibles fósiles, es decir aquellos que son de existencia limitada como: el carbón, el petróleo, y el gas natural, así como, la energía nuclear que costa de la fisión y fusión nuclear. Por otra parte, como lo indica (González Arias, 1988, p. 5). La naturaleza provee fuentes de energías limpias o renovables que no contaminan y que virtualmente son inagotables como: la energía eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz y la energía solar.

La energía solar como lo expresa (Nandwani, 2005, p. 3). Proviene de las irradiaciones solares y en comparación con las anteriores, su disponibilidad es global y casi inagotable, ya que el sol tiene 4.500 millones de años de vida y se estima que ardera 10 mil millones de años más, tiempo suficiente para que se pueda aprovechar la radiación solar global que llega al planeta, la cual como lo exponen (Arena & Zapata, 2011, p. 21). Es medida en [kWh/m<sup>2</sup>] y como lo explica (Nandwani, 2005, p. 6). Es la suma de la radiación directa, difusa y reflejada, que en conjunto puede alcanzar una magnitud de  $15 \times 10^{17}$  kWh por año en el espacio, pero al

atravesar la atmosfera se reduce al 53% a causa del reflejo y absorción del nitrógeno, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, vapor de agua, polvo y las nubes presentes. Este porcentaje de energía puede ser aprovechada en diversos fines sin el uso de elementos para su transformación, así como lo hace la naturaleza en la fotosíntesis y pasivamente como lo hacen los seres humanos con la arquitectura bioclimática según (Arena & Zapata, 2011, p- 19). Además (Delgado, 2007) también nos revela que puede ser aprovechada a través de su transformación en energía eléctrica usando captadores de paneles fotovoltaicos y en energía térmica usando captadores o colectores solares. En la Figura 2, podemos observar la oferta energética sobre el territorio colombiano principalmente la ciudad de Santiago de Cali.

Figura 2. Irradiación solar Colombia.



Fuente: (IDEAM, 2020)

### 5.1.2 Captadores solares

Los captadores solares son dispositivos utilizados para transformar la radiación solar en energía térmica al elevar a una temperatura específica un elemento (Arena & Zapata, 2011), estos se pueden clasificar según la temperatura que alcanzan en: Captadores de baja, media y alta temperatura. Los captadores de baja temperatura, son conformados por el convertidor o absorbedor, el circuito de fluido, por el aislamiento y por caja contenedora, pero sin cubierta, es por eso que son llamados captadores no protegidos (Rodríguez et al., 2016). Los captadores de media temperatura cuentan con los elementos de los captadores de baja temperatura, pero con el aditamento de una cubierta de vidrio para mitigar la pérdida de calor y, por último, los captadores de alta temperatura varían entre el uso de las tecnologías ya mencionadas mejoradas y la forma, es decir que pueden o no ser planos.

#### 5.1.2.1 Captadores solares de placa

En esta gama encontramos aquellos captadores con y sin cubierta cuyo uso se limita a la calefacción de circuitos cerrados y de piscinas (Placco et al., 2015).

- Captador sin cubierta: Como su nombre lo indica estos captadores no tienen cubiertas protectoras, básicamente están conformados por el elemento de absorción y están compuestos de un conjunto de materiales plásticos, caucho, tubos o polipropileno que presentan configuraciones flexibles para adaptarlos en cualquier terreno, como lo expresa (Rodríguez et al., 2016, p. 16). Su temperatura varía de 10 a 40°C y son resistentes a la corrosión de fácil instalación y habitualmente son implementados en el calentamiento de piscinas (Placco et al., 2015), ver Figura 3.

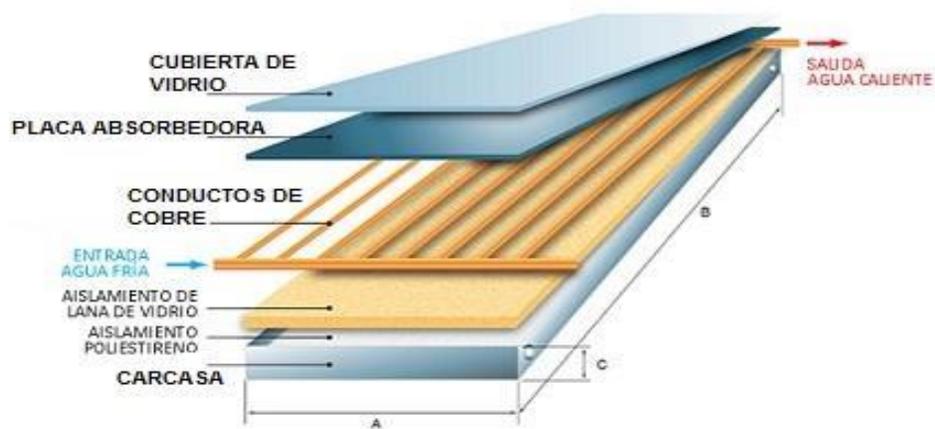
Figura 3. Colector de placa plana sin cubierta.



Fuente: (Luma, 2020)

- Captadores con cubierta: Como su nombre lo indica estos captadores tienen una cubierta protectora, transparente usualmente de vidrio o plástico que protege la placa metálica (Absorbedor) lo cual permite llegar a temperaturas más elevadas impidiendo la pérdida de convección y de radiación. Su temperatura oscila entre 40 a 100°C según (Rodríguez et al., 2016), habitualmente se utiliza para el calentamiento de aguas sanitarias (Placco et al., 2015), ver Figura 4.

Figura 4. Colector de placa plana con cubierta.



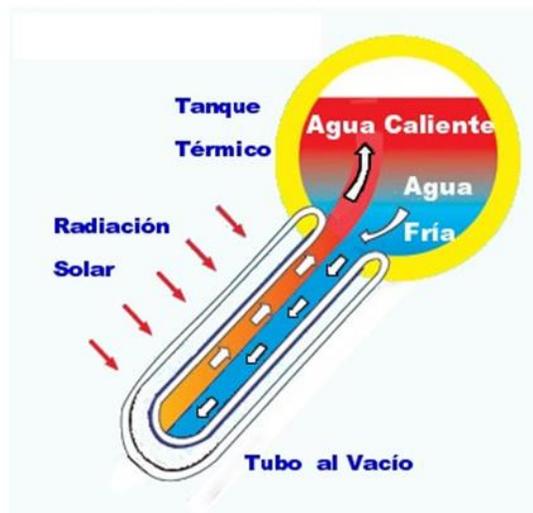
Fuente: (AulaFacil, 2020)

### 5.1.2.2 Captadores solares de tubo de vacío

Estos a pesar de ser de planos pueden alcanzar temperaturas entre 100 y 250 °C cuentan con una mayor tecnología y eficiencia que los lleva a tener un aprovechamiento de la irradiación solar mejorado siendo aplicados tanto en los hogares como en las industrias, aunque su costo es más elevado que los anteriores (Paredes, 2012).

- Captador de flujo directo: Consisten en un grupo de tubos de vidrio dentro de cada uno de los cuales hay una aleta de aluminio absorbedor, conectada a un tubo de metal (normalmente cobre) o tubo de vidrio. La aleta posee un recubrimiento selectivo que absorbe la radiación solar, e inhibe la pérdida de calor radiactivo. El fluido de transferencia de calor es el agua y se distribuye a través de las tuberías, una para la entrada del líquido y el otro para la salida de fluidos (Paredes, 2012), ver Figura 5.

Figura 5. Colector de tubo de vacío de flujo directo.



Fuente: (Calle et al., 2010)

- Captador de tubo de calor o heat pipe: En este sistema los tubos de vacío llevan un fluido vaporizado que no puede salir del interior del tubo y que funciona como calor portador. Este fluido se evapora por efecto de la radiación solar, asciende hasta el extremo superior del tubo que se encuentra a temperatura inferior, esto hace que el vapor se condense, ceda su energía y retorne a su estado líquido cayendo por acción de la gravedad a la parte inferior del tubo, donde al recibir más radiación, vuelve a evaporarse y comienza un nuevo ciclo (Paredes, 2012), ver Figura 6.

Figura 6. Colector de tubo de vacío de heat pipe.



Fuente: (PCQ, 2018)

### 5.1.2.3 Captadores de concentración

En esta gama se pueden encontrar los captadores cuyo fin es refractas la energía solar recibida hacia un punto focal. Pueden alcanzar temperaturas entre 250 y más de 750°C.

- Captadores cilindros parabólicos compactos: Los captadores cilindro-parabólicos (C.P.C) concentran la radiación solar mediante espejos con forma parabólica en una tubería absorbente que pasa por el eje de la parábola. En el interior de esta tubería absorbente se calienta un fluido que puede alcanzar temperaturas de hasta 500°C, dependiendo de la aplicación y de la temperatura a la que se quiere alcanzar se utiliza un tipo de fluido u otro. Para una temperatura máxima de 250°C se puede utilizar agua desmineralizada o EtilenGlicol como fluidos de trabajo y para temperaturas mayores se usan aceites sintéticos y nano alterados. Este tipo de captador de concentración pueden o no ir modificando su posición adaptándose a la posición del sol (Paredes, 2012), ver Figura 7.

Figura 7. Colector cilindro parabólico compacto.

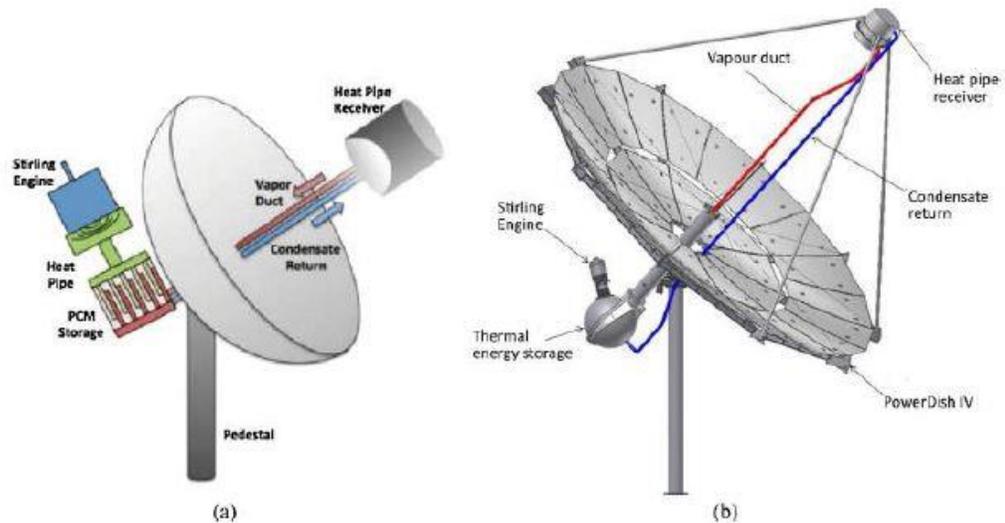


Fuente: (Echevarria, 2011)

- Captadores parabólicos o paraboloides: Los discos parabólicos son sistemas que concentran la energía solar en un punto en el que se sitúa el receptor solar y un motor Stirling o una micro turbina que se acopla a un alternador, el fluido localizado en el receptor se calienta hasta temperaturas de más de

750°C obteniendo de esta forma una cierta energía calorífica. Esta energía calorífica generada es aprovechada por el motor Stirling o la micro turbina para producir electricidad. Un motor Stirling es un motor de combustión externa (González, 2018), ver Figura 8.

Figura 8. Colector parabólico o parabolóide.

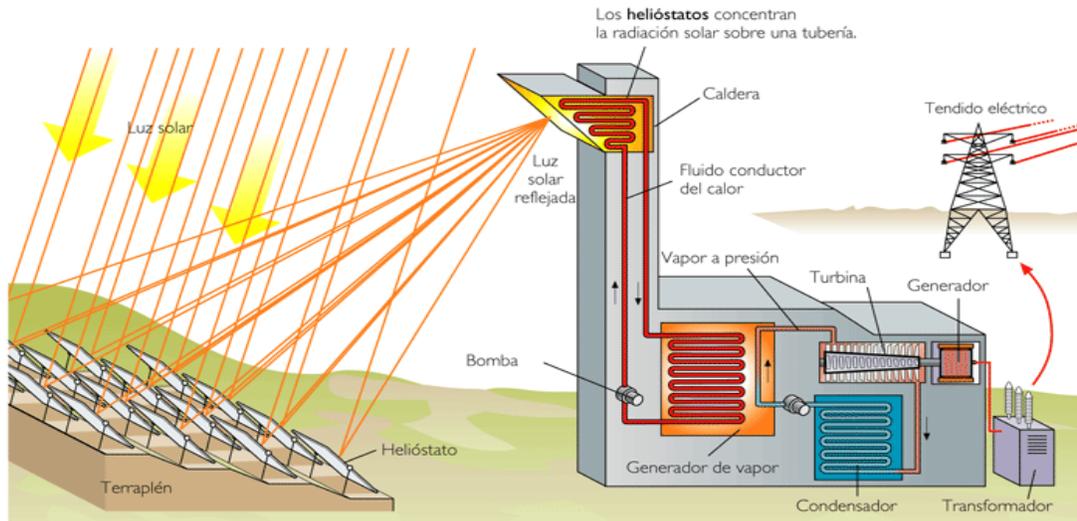


Fuente: (González, 2018)

#### 5.1.2.4 Torres de concentración

Los sistemas de torre o receptor central (Paredes, 2012) están formados por un campo de heliostatos (espejos móviles sobre 2 ejes). Los heliostatos captan y concentran la radiación directa del Sol sobre un receptor, instalado en la parte superior de una torre central. El funcionamiento de la planta es sencillo, el receptor solar central genera vapor a alta temperatura. El vapor generado se utiliza posteriormente para mover una turbina que produce energía eléctrica (Arena & Zapata, 2011), ver Figura 9.

Figura 9. Torres de concentración.



Fuente: (España, 2016)

### 5.1.3 Eficiencia energética

Como lo expresa (Llamas, 2009) la eficiencia energética es un concepto que se enfoca en el mejoramiento continuo, el aprovechamiento de los recursos y la reducción de los desechos, así como la implementación de sistemas de gestión energética que permiten la auto sustentabilidad. Es por ende este concepto es aplicado para declarar la inminente necesidad de evaluar todo lo que sucede en el planeta y su incidencia con el aumento de contaminación, con el fin de generar una disminución en la misma (Carretero & García, 2012).

La eficiencia energética, puede ser catalogada como el recurso más importante de nuestro tiempo, no obstante, también es uno de los más subutilizados, sin embargo, la tendencia hacia la conciencia en términos de eficiencia energética ha ido cambiando en el último siglo, con su crecimiento y el reconocimiento de su necesaria aplicación, muestra de ello, son los esfuerzos conglomerados de las naciones europeas que inducen a la reducción del consumo energético, los gases

de efecto invernadero y la huella de carbono en el mundo, a través de organizaciones, programas y acuerdos que promueven la disminución del calentamiento global, así como la de otros factores contaminantes, logrando así reducciones de intensidad energética, del 0.9% anuales (Poveda, 2007), esto gracias a que el 85% de los países europeos cuentan con instituciones especializadas en el tema, así como, políticas energéticas y la aplicación de normas para este fin.

A pesar de lo anterior, los índices de contaminación siguen siendo altos y no logran alcanzar su estándar óptimo, sobre todo en los países subdesarrollados, según (Altomonte et al., 2003) debido a factores económicos, como la inversión versus el plazo de rentabilidad; factores financieros, como el poco apoyo político hacia las industrias de energías limpias y factores políticos como, el escaso de reconocimiento e importancia hacia el uso y aplicación de energías renovables, muestra de ello son los índices de reducciones de intensidad energética en América Latina y el Caribe que como lo indica (Poveda, 2007) rondan los 0.2% anuales desde 1990, debido a los pocos países que en esta comparten programas de eficiencia energética a largo plazo, sin olvidar la baja incorporación de tecnologías eficientes y la modernización de factores contaminantes como los vehículos a combustión. No obstante, se debe tener en cuenta los esfuerzos implantados en los planes de desarrollo sustentable de América latina y el caribe (Altomonte et al., 2003) impulsados por (OLADE), (CEPAL) y (GTZ), y otras organizaciones, por ejemplo, (CONAE) en México, quien desde 1.989 opera y ha logrado reducciones del consumo eléctrico de 1.962M kWh con un costo de US \$ 78M y la disminución del consumo de 185M de barriles de petróleo equivalentes a US \$ 9.3M; (PROCEL) en Brasil, quien desde 1.986 hasta el 2005 invirtió cerca de US \$ 461M, generando un ahorro de 21.753 GWh anuales, es decir una generación similar a 5.124MW (Poveda, 2007); (PAE) en Perú, quien trabaja desde 1.985 desarrollando campañas de ahorro energético. Logrando disminuir la demanda energética en horas puntuales a 100MW y reemplazando 750.000 lámparas incandescentes por

lámparas fluorescentes compactas LFCs y (PROURE) en Colombia, quien desarrollado por el ministerio de minas y energía se encargó en establecer las normas y etiquetas para la eficiencia energética sustentadas en la ley 697 de octubre del 2001, para fomentar el uso racional y eficiente de las energías renovables (Altomonte et al., 2003).

#### 5.1.4 Objetivos de Desarrollo Sostenibles

Los ODS son los objetivos de Desarrollo Sostenible que se plantearon en el marco de la agenda del 2030 como una Oportunidad para América Latina y el Caribe para el desarrollo Sostenible, aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas. Establecen una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 estados miembros que la suscribieron y será la guía de referencia para el trabajo de la institución en pro de esta visión durante los próximos 15 años como lo revela (Naciones Unidas, 2018).

Estos 17 objetivos, están alineadas con las 8 Objetivos del Milenio u ODM por su sigla, a continuación, se listan dichos ODS

- Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
- Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.
- Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.
- Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.
- Lograr la igualdad entre los géneros y el empoderamiento de todas las mujeres y niñas

- Garantizar la disponibilidad de agua y su ordenación sostenible y el saneamiento para todos.
- Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.
- Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.
- Construir infraestructura resiliente, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.
- Reducir la desigualdad en y entre los países.
- Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
- Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
- Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (tomando nota de los acuerdos celebrados en el foro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático).
- Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.
- Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, efectuar una ordenación sostenible de los bosques, luchar contra la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la diversidad biológica.
- Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.
- Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible.

## 5.2 MARCO CONCEPTUAL

- Glued Laminated Guadua: Siglas del inglés de Glued Laminated Guadua, que significan, Laminado de Guadua Encolada
- Colector solar: Conjunto de elementos dispuestos para la captación y transformación de irradiación solar en energía termina
- Captador solar: Placa receptora de la radiación solar que forma parte de colector solar. Algunos textos emplean el termino captadores o colectores, la diferencia técnica es que el colector es el conjunto de elementos y el captador se refiere a la placa receptora de la radiación. Para este trabajo los términos hacen referencia al conjunto.
- Smog: Se trata de una forma de contaminación atmosférica debido, principalmente, a las emisiones de los coches, de fábricas e incluso a la combustión de carbón, unión de las palabras en inglés «smoke» (humo) y «fog» (niebla).
- ODS: Sigla de Objetivos de Desarrollo Sostenible
- OLADE: Siglas de Organización Latinoamericana de Energía.
- CEPAL: Siglas de Comisión Económica para América Latina.
- GTZ: Siglas de Cooperativa Técnica Alemana
- CONAE: Comisión Nacional de Energía.

- PROCEL: Programa de Combate al Desperdicio de Energía Eléctrica.
- PAE: Programa de Ahorro de Energía.
- PROURE: Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales en Colombia
- CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono
- CH<sub>4</sub>: Metano
- N<sub>2</sub>O: Óxido nitroso
- HFC: Hidrofluorocarbonos
- PFC: Perfluorocarbonos
- SF<sub>6</sub>: Hexafluoruro de azufre
- URE: Unidades de Reducción de Emisiones

### 5.3 MARCO CONTEXTUAL

Hace más de 3000 años las culturas asiáticas de Japón y China han usado el Bambú y la guadua como recurso arquitectónico adjunto a su filosofía del Feng-Shui que dicta la armonía total de las cosas y el medio ambiente. Sin embargo, en los últimos tiempos a nivel mundial se han encontrado diversas técnicas para la utilización de este recurso en el campo industrial, como la construcción, arquitectura, diseño y la

producción industrial. Esta última principalmente explotada en Colombia por un pequeño, pero significativo sector alrededor de la guadua, compuesto por las empresas Induguaduas y Eco-Bamboo, dedicada a la siembra, cosecha y venta de guadua y Eco-tableros, dedicada al procesamiento y transformación de guadua en tableros sustitutos de la madera. Situadas en la Zona cafetera de Colombia, estas empresas junto con Guadua Bambú Colombia conformar el sector ya mencionado y enfocan sus esfuerzos en la industrialización de este recurso poco explotado y de gran potencial, es en esta zona donde se lleva a cabo el estudio del cambio en la eficiencia energética al producir GLG de alta densidad usando un colector solar como precalentador, principalmente orientado en la empresa del sector productor de GLG, como ECO TABLEROS. Es importante resaltar que este estudio pretende analizar si existe una variación energética en términos de eficiencia al implementar una fuente alternativa de energía renovable en alguna de las fases productivas de la industria mencionada.

## 5.4 MARCO LEGAL

### 5.4.1 Protocolo de Kioto

El protocolo de Kioto de la convención del marco de las naciones unidas sobre el cambio de climático tuvo lugar en esta ciudad el 11 de diciembre de 1997, con la participación de 186 naciones, pero con la aceptación de tan solo 84 naciones (Gil, 2012). Este tratado tuvo como fin el comprometer a los participantes, con la promoción, el desarrollo sostenible, la limitación y reducción del 5% de las emisiones de gases de efecto invernadero o huella de carbono en sus naciones entre el 2008 y el 2012, para lo que dicho tratado planteo en sus incisos la importancia del impulso de la eficiencia energética en la economía nacional, de forma que se generen practicas sostenibles que promuevan la investigación el desarrollo y por ende el aumento del uso de energías renovables a través de limitación y minimización de emisiones de metano, la recuperación gestiona de

recuperación y utilización de desechos, la producción, el transporte y la distribución de la energía, sustentadas en nuevas y avanzadas tecnologías que permitan una mayor captación de gases de efecto invernadero como él ( $\text{CO}_2$ ), ( $\text{CH}_4$ ), ( $\text{N}_2\text{O}$ ), (HFC), (PFC) y ( $\text{SF}_6$ ) entre otros (Chrysanthis et al., 1991), ver Figura 10.

Figura 10. Posición países frente al tratado de Kioto año 2009.



Fuente:(Gil, 2012)

Además, planteó la necesidad de evaluar la reducción significativa de cada una de las partes, tomando como base un periodo acordado, no menor a 1990, para así, regular los avances unitarios y grupales que las partes pudieran sustentar durante los periodos de prueba (Gil, 2012). Asimismo, se crearon e implementaron tres mecanismos que permitieran cumplir con lo acordado. La implementación conjunta, que permite la transferencia de (URE) entre naciones siempre y cuando estas hayan hecho inversiones en el país receptor; El mecanismo de desarrollo limpio es la transferencia de (URE) de un país en desarrollo hacia un país desarrollado, siempre y cuando este demuestre inversiones en el donador como mejoras tecnológicas, este escenario es especialmente vigilado por un consejo ejecutivo del tratado para evitar malas prácticas. El comercio de emisiones es la práctica de compra y venta de certificados de emisiones de gases de efecto invernadero a cambio efectos

positivos al planeta, como la reforestación o la inversión de energías limpias. Este ofrece incentivos a las empresas privadas para que contribuyan con la reducción de emisiones (Republica de Colombia, 2001).

#### 5.4.2 Acuerdo de París

El acuerdo de París se desarrolló en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) en París Francia y está suscrita a la mítica Cumbre de Río de Janeiro de 1992, además de ser implementada por el protocolo de Kioto, estas últimas presentaron 4 lógicas claras: el estado de centrismo, la brecha climática Norte-Sur, la confianza en el rol de los mecanismos de mercado y el liderazgo de la Unión Europea en ausencia de Kioto, mientras que el acuerdo de París presenta una idea nueva de la arquitectura climática internacional con una mayor participación de actores no tradicionales que se adicione a la causa, así como una reformulación de los compromisos adquiridos por los países líderes que conforman el triángulo de liderazgo, este acuerdo tiene como objetivo estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera a tal punto que esto evite daños colaterales reacciones adversas en el sistema climático (Bueno, 2016).

#### 5.4.3 Ley URE

La ley Colombiana URE 697 de 2001 tiene como objetivo fomentar el uso racional eficiente de las energías y promueve la utilización de energías alternativas, estableciendo que el gobierno debe instaurar las mínimas garantías para dicho cumplimiento, como lo son: las normativas, obligaciones, estímulos, sanciones y demás referentes necesarios para el debido desarrollo de esta ley (Colombia Congreso, 2001).

#### 5.4.4 Ley 1715 de 2014

Esta ley promueve el desarrollo y la utilización de fuentes no convencionales de energía (FNCE), especialmente las renovables (FNCER), en el sistema energético colombiano mediante su integración en el mercado eléctrico y la participación en zonas no convencionales que usualmente no están interconectadas, así como, en otros usos energéticos para impulsar el desarrollo económico sostenible, la reducción de gases efecto invernadero y el aseguramiento del abastecimiento energético. Esta ley genera incentivos tributarios como: deducción especial de impuesto sobre la renta, depreciación acelerada, exclusión del IVA en la adquisiciones de bienes y servicios y la exclusión del gravamen arancelario (Congreso de Colombia, 2014).

## **6. METODOLOGÍA**

### **6.1 TIPO DE ESTUDIO**

El cálculo del cambio en la eficiencia energética al producir GLG de alta densidad utilizando captadores solares como precalentadores depende significativamente de una investigación cuantitativa, que permita la recopilación de información relevante sobre cómo se lleva a cabo el proceso de producción de GLG en la industria, es decir, que subprocesos y/o actividades componen el proceso general, en cuales de estos es requerida la energía térmica, y cuanta energía consumen dichos procesos, así como la irradiación solar (oferta energética) aprovechable del sector de análisis, puesto que, en las fases posteriores será necesario utilizar los datos recopilados para implementar cálculos matemáticos que permitan establecer la eficiencia energética del proceso mencionado, de tal forma que posteriormente al incorporar el captador solar se pueda determinar la variación en la eficiencia del proceso.

### **6.2 METODO DE INVESTIGACIÓN**

Teniendo en cuenta las particularidades para el desarrollo de esta investigación y los criterios que se pretende abarcar, se optó por implementar una metodología de investigación por fases, que permitirá la consecución de los objetivos planteados de forma lineal y sistemática, restringiendo el avance de una a fase a otra hasta cumplir el objetivo propuesto, de este modo se genera el modelo propuesto.

Figura 11. Metodología por fases.



Fuente: (Elaboración propia)

### 6.3 FUENTES Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN

El levantamiento de la información se llevará a cabo según la naturaleza de las misma; para determinar la oferta energética se consultará la fuente estadística de la idean y recopilaran dichos datos en una matriz; mientras que para caracterizar el proceso de producción de GLG actual será necesario realizar una visita al alguna de las empresas productoras para así mapear el proceso productivo y recopilar en la matriz general los datos de la maquinaria utilizada y su consumo energético, así posteriormente con ayuda de hojas de cálculos desarrollar el procesamiento de los datos que permitan un análisis estructural de los mismos

La técnica consistirá en la observación, indagación y recopilación de la información relevante para este ejercicio investigativo a través de herramientas como videos, entrevistas, diagramas de flujo, casos de uso, matrices, lista de chequeo, entre otras.

## 7. CARACTERIZACION DEL PROCESO PRODUCCION GLG ALTA DENSIDAD ACTUAL EN TERMINOS DE EFICIENCIA

En este capítulo se presenta la identificación del proceso de producción de GLG, sus etapas y la tipificación de aquellas fases que consumen energía térmica, así como el cálculo del consumo energético de dichas fases y la determinación de la eficiencia energética general.

### 7.1 PROCESO PRODUCCIÓN GLG DE ALTA DENSIDAD GENERAL

En visitas de campo a la empresa ECO TABLEROS, se logró establecer a través de la observación y diálogos con los funcionarios el proceso de producción de los tableros de GLG, además, apoyados en los estudio realizados por (Torres & Florez, 2017) y (Castañeda, 2018), se identificaron y simplificaron las siguientes fases del proceso i. Corte, ii. Cepillado, iii. Desfibrado, iv. Preservado, Inmunizado y/o Curado, v. Secado vi. Moldeado y Prensado.

Figura 12. Etapas del proceso de fabricación GLG alta densidad.



Fuente: (Elaboración propia)

A continuación se describen cada una de las fases del proceso de producción de G.L.G de alta densidad, sin embargo, se aclara que previo a dichas fases hay una de recepción del material en la que este es evaluado para determinar si cumple o no con el estándar de recepción.

### 7.1.1 Corte esterillado latillado

Las Guaduas que cumplen con el estándar de calidad de 3 a 6 m de longitud son seleccionadas. Se aceptan sólo aquellas que tienen un diámetro entre 10 y 18 cm y que estén rectas, posteriormente estas guaduas son cortadas según la necesidad de la empresa y después son picadas para convertirlas en esterillas o latillas. Según (Castañeda, 2018), las esterillas son más convenientes para producir GLG de baja y media densidad, por el contrario, las latillas y la fibra son más convenientes para la producción de GLG de alta densidad.

Figura 13. Corte esterillado latillado.



Fuente: (Correa & Montero, 2013).

### 7.1.2 Cepillado

Este proceso se lleva a cabo tomando la esterilla y lijándola por ambas caras con el fin de eliminar el recubrimiento exterior de color verde o cutícula y las protuberancias y tabiques de los entrenudos interiores propias de la guadua, para homogeneizar la superficie y de este modo asegurar una buena adhesión del Fenol Formaldehído con la materia prima (Correa & Montero, 2013).

Figura 14. Cepillado.



Fuente: (Correa & Montero, 2013)

### 7.1.3 Desfibrado

Las esterillas o latillas de Guadua son sometidas al paso entre rodillos que aplican presión a las mismas (trapichado), con el fin de extraer las fibras de forma natural, permitiendo así un mejor uso de la materia prima para posteriores procesos.

Figura 15. Desfibrado trapichado.



Fuente: (Correa & Montero, 2013)

#### 7.1.4 Preservado o inmunizado

Para certificar la preservación y durabilidad del producto final, la materia prima seleccionada puede ser sometida a dos tipos de procesos, el Inmunizado o el Preservado. El primero consiste en sumergir la materia prima con agentes químicos, con el fin de eliminar microorganismos y hongos, solución usada por Ecotableros e Induguaduas. (Castañeda, 2018). El Segundo consiste en aplicar químicos que modifiquen la constitución química del material ablandado las fibras y liberando tensiones internas mediante un autoclave, lo que mejora la densidad descomponiendo y retirando la presencia de almidón de las fibras optimizando así el prensado final sin afectar las características físicas y mecánicas del producto final, solución usadas por Ecotableros y Ecobambu (Correa & Montero, 2013). Este último presenta una alternativa más eficaz debido al volumen de fibra, según (Castañeda, 2018).

Figura 16. Preservado.



Fuente: (Guadua y Bambú Colombia)

Figura 17. Inmunizado.



Fuente: (Correa & Montero, 2013)

### 7.1.5 Secado

La materia prima proveniente del proceso de inmunizado o preservado adquiere un porcentaje de humedad de entre el 50% y 60% de su masa inicial, lo que supone un riesgo para la integridad y calidad del producto final. Con el Objetivo de disminuir el porcentaje de humedad de la materia prima a un nivel inferior al 15%, este es apilado en estantes metálicos e introducido en cuartos de secado que actúan como hornos, calentados por radiadores en los que fluye aceite caliente, este calor es recirculado en forma de flujo de aire caliente por ventiladores hacia el cuarto, permitiendo de este modo la evaporación del exceso de humedad de la materia, alcanzando porcentajes ente el 10% y 12%. (Correa & Montero, 2013).

Figura 18. Secado.



Fuente: (Correa & Montero, 2013)

### 7.1.6 Moldeado y prensado

La materia prima, previamente tratada en las fases anteriores, es llevada al área de moldeado y prensado, posteriormente es introducida en los moldes con el agente adhesivo Fenol Formaldehído, para de este modo ser montadas en la prensa que

aplica presión y simultáneamente calienta la placas mediante un sistema de tipo radiador por el cual recircula aceite térmico, alcanzado temperaturas de 200°C.

Figura 19. Prensado.



Fuente: (Correa & Montero, 2013)

## 7.2 REQUERIMIENTOS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE GLG DE ALTA DENSIDAD

Con el proceso general de producción de GLG de alta densidad caracterizado, se procedió a detallar los requerimientos necesarios para el cumplimiento de las características del producto final. Los cuadros y cálculos se generan con base a una unidad y luego serán extrapolados a la cantidad de unidades que cada fase soporte.

### 7.2.1 Producto final

Según (Castañeda, 2018) el tablón o viga de G.L.G de alta densidad, como producto final debe presentar una características especiales que le permitan ser competitivo en el sector estructural, como sus dimensiones de pueden ir desde los 3 hasta los 6 metros; su espesor de al menos 5 centímetros y la densidad recomendada de

1200 kg/m<sup>3</sup> obtenida de una relación de compresión de 5 a 1. Teniendo en cuenta las dimensiones de los moldes de la prensa y la densidad final del producto se determinaron el volumen y la masa final del producto, así como, su composición, la relación se presenta en la Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 5. Características producto final.

Descripción	Característica Final Tablón		
	Variable	Datos	Unidad Medida
Largo	L	6	m
Ancho	a	0,65	m
Alto	h	0,05	m
Densidad Final Mezcla	$\rho$	1200	kg/m <sup>3</sup>
Volumen	V	0,195	m <sup>3</sup>
Masa Requerida	$m_T$	234	kg

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 6. Composición producto final.

Descripción	Composición Final Tablón			Unidad Medida
	Variable	%	Datos	
Masa Pegante	$m_p$	7,0%	16,38	kg
Masa Guadua	$m_G$	84,0%	196,56	kg
Masa Agua	$m_A$	9,0%	21,06	kg
Masa Total	$m_T$	100%	234	kg

Fuente: (Elaboración propia)

## 7.2.2 Materia prima

La materia prima utilizada en este proceso se califica como Guagua Angustifolia Kun, también denominada el Bambú Colombiano, según (Velez, 2005), esta planta se desarrolla en Colombia entre los 500 y 1500 metros de altura, con temperaturas 17°C y 26°C, precipitaciones de 1200 a 2500 mm/año y humedad relativa del 80% y 90%. En la Tabla 7 se describen las medidas de la materia prima.

Tabla 7. Características materia prima.

Guagua Angustifolia Kun			
Descripción	Variable	Dato	Unidad Medida
Largo	L	6	m
Ancho	a	0,45	m
Alto	h	0,01	m
Volumen	V	0,027	m <sup>3</sup>
Densidad	ρ	<b>760</b>	kg/m <sup>3</sup>
Masa x Guagua	m	<b>21</b>	kg

Fuente: (Elaboración propia)

Para cumplir con demanda de producción de una viga o tablón de GLG de alta densidad de 234 kg, son necesarias 14 unidades de Guagua que cumplan con los parámetros indicados en la Tabla 7.

Tabla 8. Cantidad guaguas requeridas proceso.

Cantidad Guagua Requerida Proceso			
Descripción	Variable		Unidad Medida
Cantidad Guagua	Unidades	<b>14</b>	Und
Cantidad Guagua	4 Unidades	<b>55</b>	Und

Fuente: (Elaboración propia)

Teniendo en cuenta que el ritmo del proceso está determinado por el limitante de producción de la fase de prensado, en la que solo pueden generarse 4 vigas o tablonos de GLG cada 1.6 horas, se generan las siguientes tablas para evidenciar la cantidad de tablonos a producir y su relación con la cantidad de materia prima. Con estos datos se calcula el consumo por fases según el tiempo de producción.

Tabla 9. Producción / Requerimiento por horas.

	Unidades Guaduas Requeridas x Hora			
	Horas			
	1/4 Turno 2	1 Turno 8	2 Turnos 16	3 Turnos 24
<b>Tablonos Producidos</b>	4	20	40	60
<b>Cantidad Guadua</b>	55	274	549	823

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 10. Producción / Requerimiento por periodo

	Unidades Guaduas Requeridas			
	Periodo			
	Diario	Semanal	Mensual	Anual
<b>Tablonos Producidos</b>	20	140	600	7200
<b>Cantidad Guadua Max</b>	274	1920	8229	98750
<b>Cantidad Guadua Min</b>	247	1728	7406	88875

Fuente: (Elaboración propia)

### 7.2.3 Cepillado

Luego del proceso de recepción y corte de la Guadua, esta debe pasar por el proceso de cepillado en el cual se pierde como desperdicio el 5% del total de masa de la Guadua, según el requerimiento del producto final y las dimensiones y características de la materia prima se requieren aproximadamente 14 guaduas para rellenar uno de los moldes de la prensa, es decir que se necesitarían aproximadamente 55 guaduas para los 4 moldes.

Tabla 11. Cantidad guaduas entrante cepillado.

Cantidad Guadua Entrante Proceso Cepillado			
Descripción	Variable	Datos	Unidad Medida
Porcentaje Perdida	%	0,65	5%
Cantidad Guadua	Unidades	14	Und
Cantidad Guadua	4 Unidades	55	Und

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 12. Cantidad guaduas saliente cepillado.

Cantidad Guadua Saliente Proceso Cepillado			
Descripción	Variable	Datos	Unidad Medida
Cantidad Guadua	Unidades	13	Und
Cantidad Guadua	4 Unidades	52	Und

Fuente: (Elaboración propia)

#### 7.2.4 Desfibrado

Al proceso de desfibrado ingresan las 13 Guaduas provenientes del proceso de cepillado y debido al proceso se pierde como desperdicio el 5% del total de masa de la Guadua, generando como residuo aproximadamente 12 guaduas, a continuación, se generan las respectivas tablas de entrada y salida de materia prima del proceso.

Tabla 13. Cantidad guaduas entrante desfibrado.

<b>Cantidad Guaduas Entra Proceso Desfibrado</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Variable</b>	<b>Unidades</b>	<b>Unidad Medida</b>
Porcentaje Perdida	%	<b>0,62</b>	0,05
Cantidad Guadua	Unidades	<b>13</b>	Und
Cantidad Guadua	4 Unidades	<b>52</b>	Und

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 14. Cantidad guaduas saliente desfibrado.

<b>Cantidad Guaduas Salientes Proceso Desfibrado</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Variable</b>	<b>Unidades</b>	<b>Unidad Medida</b>
Cantidad Guadua	Unidades	<b>12</b>	Und
Cantidad Guadua	4 Unidades	<b>50</b>	Und

Fuente: (Elaboración propia)

#### 7.2.5 Preservado o inmunizado

A este proceso ingresan las 12 Guaduas provenientes del proceso de desfibrado, con una masa total de 255,27 kg, compuesta por 77% masa de Guadua y 23% masa

de Agua, que deberá ser calentada a 100°C por al menos 2 horas, lo que en conjunto con agentes químicos genera el inmunizado y preservado de la materia prima, pero también altera la composición de la misma como se evidencia en las siguientes tablas donde se muestra inicialmente la cantidad de guaduas requeridas para el proceso, pero posteriormente se detallan la cantidad de kilogramos requeridos, lo anterior para tener una mejor comprensión de los cambios que sufre la materia prima en los procesos siguientes. Ya que en esta fase la materia prima adquiere el doble de su peso en masa de Agua.

Tabla 15. Cantidad guaduas entrante inmunizado.

Descripción	Guadua Entra Proceso Preservado			Unidad Medida
	Variable	Valores	x4	
Cantidad Masa Guadua	m	255,27	1021,09	kg
Cantidad Guadua	Unidades	12	50	Unidades

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 16. Masa entrante inmunizado.

Descripción	Masa Ingresa Proceso Preservado			Unidad Medida
	Variable	%	Valores	
Masa Guadua	m	77%	196,56	kg
Masa Agua Inicial	m	23%	58,71	kg
Masa Agua Total	m <sub>T</sub>	100%	255,27	kg

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 17. Masa saliente inmunizado.

Masa Sale Proceso Preservado				
Descripción	Variable	%	Valores	Unidad
Masa Guadua	m	50%	196,56	kg
Masa Agua Inicial	m	23%	58,71	kg
Masa Agua Adquirida	m	27%	68,92	kg
Masa Agua Total	m <sub>T</sub>	100%	324,20	kg

Fuente: (Elaboración propia)

### 7.2.6 Secado

Al proceso de secado ingresan 324,20 kg de materia prima compuesta por 50% (196,56 kg) de masa de Guadua, 23% (58,71 kg) de masa de Agua inicial y 27% (68,92 kg) de masa de Agua Adquirida por el proceso de inmunizado. Es decir que alcanza un 50% de su peso en masa de Agua, sin embargo, en el proceso de secado la cantidad de líquido presente en la materia prima debe reducirse para alcanzar un factor entre el 7% y el 11%, como se observa en la tabla la materia prima saliente del proceso pierde un 80% de su masa de agua inicial, a través de un horneado lento que puede tardar entre 16 y 21 horas.

Tabla 18. Masa entrante secado.

Masa Ingresa Proceso Secado				
Descripción	Variable	Porcentaje	Datos	Unidad Medida
Masa Guadua	m	50%	196,56	kg
Mas Agua Inicial	m	23%	58,71	kg
Masa Agua Adquirida	m	27%	68,92	kg
Mas Guadua	m <sub>T</sub>	100%	324,20	kg

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 19. Masa saliente secado.

Descripción	Variable	Masa Sale Proceso Secado		
		%	Datos	Unidad Medida
Masa Guadua	m	89%	<b>196,56</b>	kg
Masa Agua	m	11%	<b>25,00</b>	kg
Mas Guadua Total	$m_T$	100%	<b>221,56</b>	kg
Masa Agua Perdida	m	80%	102,64	kg

Fuente: (Elaboración propia)

### 7.2.7 Moldeado y prensado

Esta es la última etapa del proceso de fabricación de GLG de alta densidad, en la cual se toman los 221,56 kg de materia prima (fibra de Guadua) provenientes del proceso de secado y se introducen en los moldes de la prensa, adicionando el agente glutinoso conocido como Fenol Formaldehido que ocupa el 7% de la composición final, para posteriormente generar las vigas o tablones de GLG de alta densidad, generando una compresión con relaciona de 5 a 1 y alcanzando una temperatura de 200°C durante al menos 1.6 horas permitiendo así la homogeneización de los componentes y garantizando las características del producto final, como la densidad de 1200 kg/m<sup>3</sup>. En las siguientes tablas se reflejan las entradas y salidas de este proceso en términos de materia prima.

Tabla 20. Masa entrante prensado.

Masa Ingresada Proceso Prensado				
Descripción	Variable	%	Datos	Unidad Medida
Masa Pegante	m	6,9%	16,38	kg
Masa Guadua	m	82,6%	196,56	kg
Masa Agua	m	10,5%	25,00	kg
Masa Total PF	m <sub>T</sub>	100%	238	kg

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 21. Composición final tablón.

Composición Final Tablón				
Descripción	Variable	%	Datos	Unidad Medida
Masa Pegante	m <sub>p</sub>	7,0%	16,38	kg
Masa Guadua	m <sub>G</sub>	84,0%	196,56	kg
Masa Agua	m <sub>A</sub>	9,0%	21,06	kg
Masa Total	m <sub>T</sub>	100%	234	kg

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 22. Característica final tablón.

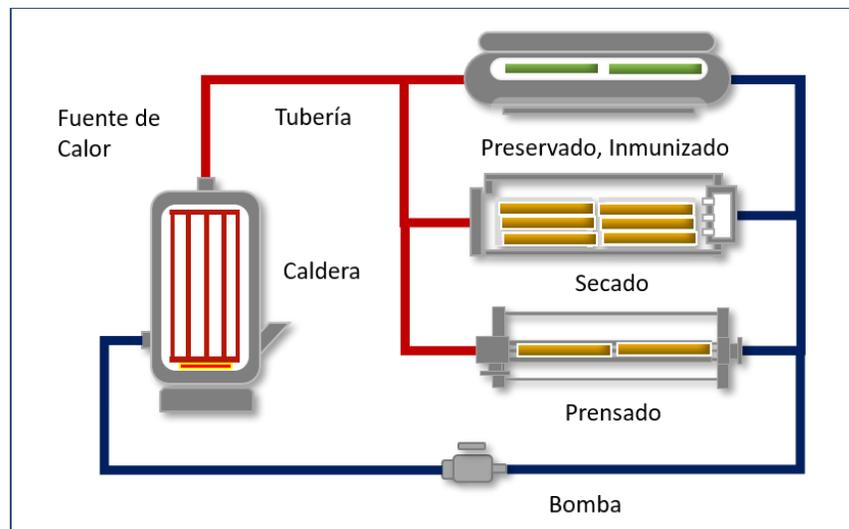
Característica Final Tablón			
Descripción	Variable	Datos	Unidad Medida
Largo	L	6	m
Ancho	a	0,65	m
Alto	h	0,05	m
Densidad Final Mezcla	$\rho$	1200	kg/m <sup>3</sup>
Volumen	V	0,195	m <sup>3</sup>
Masa Requerida	m <sub>T</sub>	234	kg

Fuente: (Elaboración propia)

### 7.2.8 Identificación de fases de calor

Gracias a la caracterización de las fases del proceso de producción de GLG de alta densidad se identificaron aquellas fases que consumen energía térmica (Calor), esenciales para el cumplimiento del objetivo propuesto en esta investigación, estas fases son **iv. Preservado, Inmunizado y/o Curado**, **v. Secado** **vi. Moldeado y Prensado**. A continuación, se muestra un diagrama de las fases térmicas del proceso de producción de GLG de alta densidad.

Figura 20. Fases térmicas GLG.



Fuente: (Elaboración propia)

### 7.3 CÁLCULOS DE CALOR REQUERIDO

En este capítulo se detallan los cálculos del calor requerido por cada una de las fases térmicas del proceso de producción de GLG de alta densidad.

### 7.3.1 Calor requerido por la fase de preservado o inmunizado

Partiendo del peso inicial de la materia prima de 255,27 kg, compuestos por 77% (196,56 kg) de Guadua y 23% (58,71 kg) de Agua Inicial y teniendo en cuenta que en esta fase la materia prima adquiere el doble de su masa de agua inicial, como se indica en la Tabla 17. Se procede a realizar los cálculos térmicos que permitan hallar la cantidad de calor requerido para elevar la temperatura a 100°C, desde la temperatura ambiente 25°C.

Para ellos se estableció que el Calor Específico Cp de la Guadua y del Agua es 4187 J/kg.k y el calor latente de vaporización del agua es 2.256.000 J/kg (Cabal & González, 1991). Se utilizó la siguiente ecuación de termodinámica para el aumento de calor sin cambio de fase.

Ecuación 1. Ecuación calor específico Q necesario.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Donde:

$Q$  = Calor, expresado en J

$m$  = Masa, expresada en kg

$c$  = Calor específico, expresado en J/kg.k

$\Delta T$  = Delta de temperatura ( $T_{\text{Final}} - T_{\text{Inicial}}$ ), expresada en °C

En la siguiente tabla se detalla la cantidad de energía térmica requerida por cada uno de los componentes de la materia prima Tabla 23 y de este modo alcanzar la temperatura necesaria, además, se expresa dicho valor en términos de potencia ver Tabla 24.

Tabla 23. Calor requerido preservado.

Calor Requerido Proceso Preservado			
Descripción	Variable	Datos	Unidad Medida
Calor Guadua	$Q_{Guadua}$	<b>61.724.754</b>	J
Calor Agua Inicial	$Q_{Agua Inicial}$	<b>18.437.264</b>	J
Calor Agua Adicional	$Q_{Agua Adquirida}$	<b>21.643.745</b>	J
Calor total	$Q_{Total}$	<b>101.805.763</b>	J

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 24. Potencia requerida preservado

Potencia Para Calentar Masa x Hora			
Descripción	Variable	Datos	Unidad Medida
Calor	Q	101.805.763	J
1 KWh		3,60E+06	J
Potencia	KWh	<b>28,28</b>	
Potencia x 4	KWh	<b>113,12</b>	

Fuente: (Elaboración propia)

### 7.3.2 Calor requerido en la fase de secado

A esta fase ingresan 324,20 kg de materia prima compuesta por 50% (196,56 kg) de masa de Guadua, 23% (58,71 kg) de masa de Agua inicial y 27% (68,92 kg) de masa de agua adquirida por el proceso de inmunizado, cuyo factor debe ser

reducido un margen de humedad entre el 7% y el 11%, se estableció que además de elevar la temperatura del agua a su punto de ebullición, es necesario alcanzar el cambio de fase y evaporar la cantidad de agua innecesaria de tal modo que se plantea el uso de la ecuación de calor específico anteriormente mencionada Ecuación 1 y de la ecuación de cambio de fase Ecuación 2.

Ecuación 2. Ecuación cambio de fase (Evaporación).

$$Q = m \cdot Lv$$

Donde:

$Q$  = Calor, expresado en J

$m$  = Masa, expresada en kg

$Lv$  = Calor latente de evaporación J/kg

Tabla 25. Calor requerido secado.

Descripción	Calor Requerido Proceso Secado		
	Variable	Datos	Unidad Medida
Calor Masa Guadua	$Q_{Guadua}$	<b>61.724.754</b>	J
Calor Masa Agua	$Q_{Agua}$	<b>40.109.727</b>	J
Calor Cambio Fase Agua	$Q_{Cambio Fase Agua}$	<b>231.547.636</b>	J
Calor total	$Q_{Total}$	<b>333.382.118</b>	J

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 26. Potencia requerida secado.

Descripción	Potencia Para Calentar Masa x Hora		
	Variable	Datos	Unidad Medida
Calor total	$Q_{Total}$	333.382.118	J
1 KWh		3,60E+06	J
Potencia	KWh	<b>92,61</b>	
Potencia x 4	KWh	<b>370,42</b>	

Fuente: (Elaboración propia)

### 7.3.3 Calor requerido en la fase de prensado

Según la composición de la materia prima de guadua y la aplicación de un nuevo componente, el Fenol Formaldehido (Pegante o Aglutinante), se procedió a realizar los cálculos para alcanzar la temperatura de 200°C requerida por el proceso.

Tabla 27. Masa entrante prensado.

Descripción	Masa Ingresada Proceso Prensado			Unidad Medida
	Variable	%	Datos	
Masa Pegante	m	6,9%	<b>16,38</b>	kg
Masa Guadua	m	82,6%	<b>196,56</b>	kg
Masa Agua	m	10,5%	<b>25,00</b>	kg
Masa Total PF	$m_T$	100%	<b>238</b>	kg

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 28. Calor requerido prensado.

Calor Requerido Proceso Presando			
Descripción	Variable	Datos	Unidad Medida
Calor Masa Pegante	$Q_{\text{Pegante}}$	<b>7.166.250</b>	J
Calor Masa Guadua	$Q_{\text{Guadua}}$	<b>144.024.426</b>	J
Calor Masa Agua	$Q_{\text{Agua}}$	<b>18.331.250</b>	J
Calor total	$Q_{\text{Total}}$	<b>169.521.926</b>	J

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 29. Potencia requerida prensado.

Potencia Para Calentar Masa Requerida			
Descripción	Variable	Datos	Unidad Medida
Calor Total	$Q_{\text{Total}}$	169.521.926	J
1 KWh		3,60E+06	J
Potencia	KWh	<b>47,09</b>	J/s
Potencia x 4	KWh	<b>188,36</b>	J/s

Fuente: (Elaboración propia)

#### 7.3.4 Calor requerido por el fluido caloportador

La temperatura máxima requerida por fase es de 200 °C, no obstante, contemplado una pérdida de calor del 20% en el fluido, se estableció que el líquido caloportador deberá alcanzar una temperatura de 250 °C, iniciando en la temperatura ambiente promedio de la zona de estudio 25 °C, por ello se estableció el uso del aceite térmico Therminol VP-1, ya que sus propiedades físicas permiten alcanzar temperaturas en un rango de 12 a 400 °C con un nivel de congelamiento a los 12 °C (Repáraz, 2010). Características idóneas para el proceso de producción de GLG objeto de estudio. Ver Anexo 1.

Tabla 30. Potencia requerida liquido caloportador.

Descripción	Potencia Para Calentar Aceite		
	Variable	Datos	Unidad Medida
Calor	Q	397.500.486	J
1 KWh		3,60E+06	
Potencia	P	<b>110,42</b>	kWh
Potencia 4 Tablones	P	<b>441,67</b>	kWh

Fuente: (Elaboración propia)

#### 7.4 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO PRODUCCIÓN GLG ALTA DENSIDAD ACTUAL

Con los cálculos de calor y potencia realizados para las fases térmicas del proceso de producción de GLG de alta densidad, se consolida la información para evidenciar el consumo de energía térmica y la potencia requeridas por cada proceso según los tiempos estimado de los mismos.

Tabla 31. Calor requerido por fase.

Proceso	Calor Requerido en el Proceso (kJ) x Hora					Participación %
	1	2	8	16	24	
Preservado	101806	203612	814446	1628892	2443338	10%
Secado	333382	666764	2667057	5334114	8001171	33%
Prensado y Curado	169522	339044	1356175	2712351	4068526	17%
Aceite Térmico	397500	795001	3180004	6360008	9540012	40%
<b>Calor (kJ)</b>	<b>1002210</b>	<b>2004421</b>	<b>8017682</b>	<b>16035365</b>	<b>24053047</b>	<b>100%</b>

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 32. Potencia requerida por fase.

Proceso	Potencia Requerida en el Proceso (kWh) x Hora					Participación %
	Horas trabajo					
	1	2	8	16	24	
Preservado	28	57	226	452	679	10%
Secado	93	185	741	1482	2223	33%
Prensado y Curado	47	94	377	753	1130	17%
Aceite Térmico	110	221	883	1767	2650	40%
<b>Potencia (kWh)</b>	<b>278</b>	<b>557</b>	<b>2227</b>	<b>4454</b>	<b>6681</b>	<b>100%</b>

Fuente: (Elaboración propia)

Además, teniendo en cuenta que 1m<sup>3</sup> de Gas Natural equivale a 11,70 kWh (Selectra, 2022) con un costo de \$ 2.516,46 COP a julio del 2022, se generó la siguiente tabla con el total de metros cúbicos requeridos para cada proceso durante los tiempos estimados de operación

Tabla 33. Gas natural requerido.

Proceso	Gas natural Requerido en el Proceso (m <sup>3</sup> ) x Hora					Participación %
	Horas trabajo					
	1	2	8	16	24	
Preservado	2	5	19	39	58	10%
Secado	8	16	63	127	190	33%
Prensado y Curado	4	8	32	64	97	17%
Aceite Térmico	9	19	75	151	226	40%
<b>Total m<sup>3</sup></b>	<b>24</b>	<b>48</b>	<b>190</b>	<b>381</b>	<b>571</b>	<b>100%</b>

Fuente: (Elaboración propia)

Para finalizar, relacionando los datos obtenidos anteriormente se calculó la eficiencia del proceso de producción de GLG actual en términos del consumo de Calor, Potencia, Gas Natural y Costo de Gas Natural,

Tabla 34. Eficiencia proceso GLG alta densidad actual.

Eficiencia Proceso GLG Alta Densidad					
Variable	Diario	Mensual	Eficiencia x Tablón	Und	Medida
Tiempo	8	240	1,6		Hrs
Tablones Pd	20	600	1		Und
Calor Requerido	8.017.682	240.530.470	400.884		kJ
Potencia requerida	2.227	66.814	111		kWh
Gas Natural Requerido	190	5.711	10		m <sup>3</sup>
\$ Gas Natural	\$ 479.017	\$ 14.370.496	\$ 23.951		COP

Fuente: (Elaboración propia)

En la Tabla 34, podemos observar que en un turno de 8 Hrs, se requieren 190 m<sup>3</sup> de GN para producir 20 tablones, es decir que cada tablón consume aproximadamente 10 m<sup>3</sup> de GN y su costo térmico es de \$ 23.951 pesos colombianos

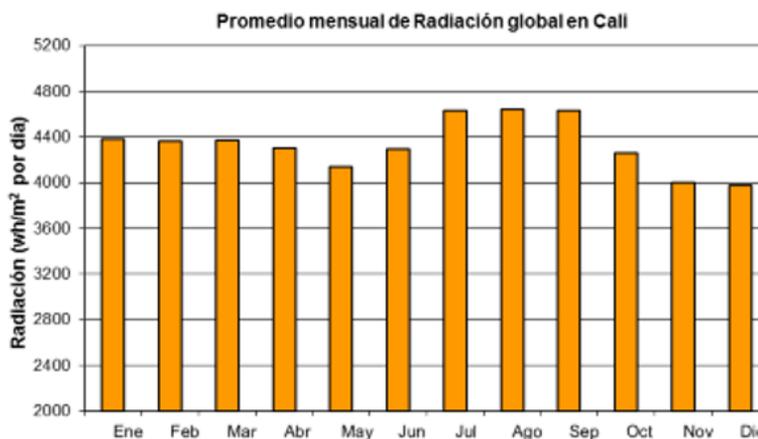
## 8. DETERMINACIÓN DEL TIPO DE COLECTOR Y SU POTENCIA PARA SUPLIR LA DEMANDA ENERGÉTICA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE GLG DE ALTA DENSIDAD

En este capítulo se precisa la oferta energética de la zona estudio, se efectúan los cálculos para determinar la potencia útil del CPC y la cantidad necesaria de estos para suplir la demanda presentada en la Tabla 32, además se evidencias las especificaciones técnicas del CPC y se genera el diseño del mismo

### 8.1 OFERTA ENERGÉTICA

Se consultó la temperatura e irradiación solar en Colombia y de determinó que, específicamente en Cali y Armenia se cuenta con una temperatura promedio de 29 °C y 22 °C respectivamente y una oferta energética o irradiación solar promedio diaria de 4,5 a 5,0 kWh/m<sup>2</sup> (IDEAM, 2015). Esta es establecida con el producto de las mediciones por hora aprovechable del día, las cuales van desde las 7 hasta 17 horas y alcanzan en sus picos más altos una irradiación de 950 Wh/m<sup>2</sup>.

Tabla 35. Irradiación Solar Cali.



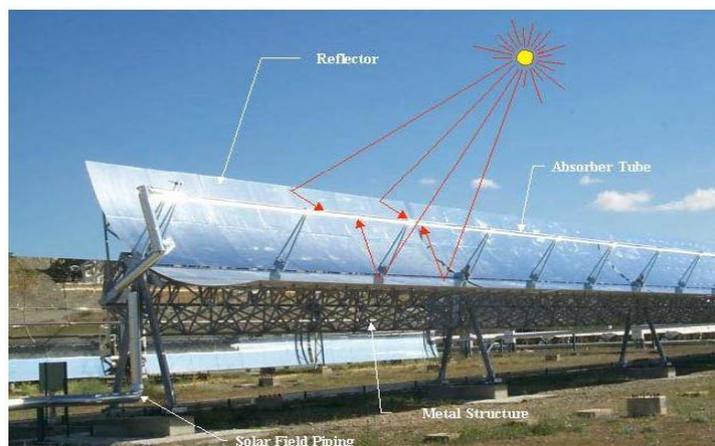
Fuente: (IDEAM, 2015)

Fijada la irradiación solar en el territorio de estudio y teniendo en cuenta la temperatura máxima que se requiere en el proceso de fabricación de GLG de alta densidad, se eligió como fuente de energía alternativa, sustituta o complementaria, el colector cilindro parabólico compacto (CPC), ya que este tipo de modelo cumple con las características requeridas para dicho proceso, como se explica en el apartado de Captadores de concentración y la Figura 7.

## 8.2 CALCULOS PARA EL COLECTOR CILINDRO PARABÓLICO COMPACTO

Para realizar los cálculos del CPC fue necesario establecer el tipo de colector, los tubos absorbedores y el fluido térmico idóneos para este fin. De este modo y con base en las investigaciones realizadas por (López, 2012), se optó por realizar el estudio con el CPC de tipo Eurotrough modelo SKAL-ET 150 fabricado por Flagsol, con un tubo absorbedor Modelo PTR 70 fabricado por Schott y un aceite térmico sintético Therminol PV-1 distribuido por empresas como Química Delta, Solutia, Pirobloc entre otras. Estos son los elementos más utilizados en la construcción de campos solares (Camacho, 2019). Los cuales se observan en la Figura 21.

Figura 21. Colector CPC Eurotrough SKAL-ET 150.



Fuente: (Elaboración propia)

### 8.2.1 Parámetros de partida

Teniendo en cuenta que el rendimiento máximo de las centrales solares es del 38%, y que la potencia diaria requerida por el proceso de GLG de 2227 kWh, se calcula la potencia que debe proporcionar el CPC, usando la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Ecuación rendimiento CPC

$$2.227 \text{ kWh}/0,38 = 5.860 \text{ kWh}$$

Para precisar la temperatura que debe tener el aceite a la entrada y salida del proceso, se requiere un salto térmico de 225 °C, es decir que  $T_{in} = 25 \text{ °C}$  y  $T_{out} = 250 \text{ °C}$ .

En la zona de estudio Cali, Armenia, El valor de radiación solar directa obtenido fue de 950 W/m<sup>2</sup> y la temperatura de 25 °C, valores obtenido del promedio de los picos más altos de radiación diaria a medio día durante el último año. Además, se denotan las características principales del Coletos CPC Eurotrough modelo SKAL-ET 150

Tabla 36. Características físicas colector CPC Eurotrough SKA- ET 150.

Área de apertura del colector ( m <sup>2</sup> )	817,5
Longitud del tubo absorbedor (m)	148,5
Ø ext Tubo absorbedor (m)	0,07
Factor de interceptancia experimental tubo absorbedor	0,99
Transmitividad cubierta tubo absorbedor	0,92
Absortividad tubo absorbedor	0,95
Reflectancia superficie	0,94
Factor ensuciamiento	0,98
Rendimiento térmico	0,96

Fuente: (Gómez, 2021)

## 8.2.2 Caudal de aceite Therminol VP-1 por fila CPC

El caudal de aceite por fila de colector debe calcularse buscando que el número de Reynolds sea suficientemente alto para que se garantice una óptima transferencia de calor en el interior del tubo absorbedor (López, 2012). Por esto el valor de Reynolds establecido es de  $1.5 \times 10^5$ .

Ecuación 4. Ecuación velocidad aceite

$$Re = \frac{V * D * \rho}{\mu}$$

Donde:

$\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido, expresada en kg/m.s.

V = Velocidad del fluido expresada en m/s

D = Diámetro interior de los tubos absorbedores, expresado en m

$\rho$  = Densidad del aceite, expresada en kg/m<sup>3</sup>

Re = Reynolds

Para determinar los parámetros de comportamiento del aceite es esta instancia, es necesario tomar una temperatura media, en este caso es

Ecuación 5. Ecuación preliminar del aceite térmico

$$(250 + 25) / 2 = 137,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Si se considera la media de la temperatura del aceite, entonces la viscosidad dinámica “ $\mu$ ”, sería  $6.42 \times 10^{-4}$  Pa.s o kg/m.s y la densidad “ $\rho$ ” sería  $965 \text{ kg/m}^3$  según la tabla de especificaciones del aceite. Ya que el tubo absorbedor del colector elegido tiene un diámetro de 65mm, se despeja la ecuación para hallar la velocidad del fluido.

Ecuación 6. Ecuación velocidad aceite despejada.

$$V = \frac{Re * \mu}{D * \rho}$$

$$V = \frac{1,95 \times 10^5 \times 6,42 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s}}{965 \times 0,065 \text{ kg/m}^3} = 2,00 \text{ m/s}$$

Con los anteriores datos se obtiene el el flujo masivo, usando la siguiente ecuacion

Ecuación 7. Ecuación flujo masico del aceite

$$\dot{m} = V \cdot st \cdot \rho$$

Donde:

$\dot{m}$  = Flujo o caudal masico, expresado en kg/s

st = Seccion transversal de los tubos aborbedores, expresada en  $\text{m}^2$

Debido a que la densidad del aceite a  $137.5 \text{ }^\circ\text{C}$  es  $965 \text{ kg/m}^3$  y el tubo aborbedor tiene una seccion transversal de  $33,18 \times 10^{-4}$ , el flujo masivo para la velocidad hallada sera de:

$$\dot{m} = 2,00 \text{ m/s} \times 33,18 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 965 \text{ kg/m}^3 = 6,404 \text{ kg/s}$$

### 8.2.3 Incremento de temperatura del fluido del colector

Se calcula la variación de temperatura que puede alcanzar el fluido térmico bajo las condiciones iniciales, pero antes se calculan las pérdidas térmicas en el colector, este coeficiente global de pérdidas (Gómez, 2021). Este dado por la siguiente ecuación:

Ecuación 8. Ecuación del coeficiente global de pérdidas térmicas

$$U_{Labs} = a + b \times (T_{abs} - T_{abm}) + c \times (T_{abs} - T_{abm})^2$$

Donde:

$U_{Labs}$  = Coeficiente global de pérdida térmicas, expresado en  $W/m^2_{abs} \text{ } ^\circ C$

El valor de los coeficientes “a”, “b” y “c” de la ecuación para una temperatura de trabajo igual o superior a  $250 \text{ } ^\circ C$  son 2,46109; -0,01394 y 0,000055 respectivamente, según la tabla calculadas por el CINEMAT para el colector Eurotrough, entonces reemplazando en la ecuación, se obtiene:

$$\begin{aligned} U_{Labs} &= 2,46109 + 0,01394 \times (137,5 \text{ } ^\circ C - 25 \text{ } ^\circ C) + 0,000055 \times (137,5 \text{ } ^\circ C - 25 \text{ } ^\circ C)^2 \\ &= 1,59 \text{ W/m}^2_{abs} \text{ } ^\circ C \end{aligned}$$

Las pérdidas térmicas del colector cuya temperatura media es de  $137.5 \text{ } ^\circ C$ , con longitud de 148,5 m y área de tubo absorbedor de  $32.65 \text{ m}^2$ , serán:

Ecuación 9. Ecuación perdidas térmicas colector.

$$Q_{loss} = U_{L,abs} \times A_{abs} \times (T_{abs} - T_{abm})$$

Donde:

$Q_{loss}$  = Perdidas térmicas en el colector, expresado en W

$$Q_{loss} = 1,59 \text{ W/m}^2_{abs} \text{ } ^\circ\text{C} \times 32,65 \text{ m}^2 \times (137,5 \text{ } ^\circ\text{C} - 25 \text{ } ^\circ\text{C}) = 5.847,97 \text{ W}$$

De acuerdo con los fabricantes los colectores Eurotrough están compuestos por módulos de espejos cilindro parabólicos cuya área total es de 817,5 m<sup>2</sup> (Echevarria, 2011). La ecuación de energía solar incidente sobre el colector es:

Ecuación 10. Ecuación energía solar incidente.

$$Q_{sol} = A_c \times I \times \text{Cos}(\theta)$$

Donde:

$Q_{sol}$  = Energía solar incidente en el colector, expresada en W

$A_c$  = Area de apertura del colector, ecpresada en m<sup>2</sup>

$I$  = Radiacion global directa, expresada en W/m<sup>2</sup>

$\theta$  =Angulo de incidencia, expresada en °

La energía solar disponible según la apertura del colector es de:

$$Q_{sol} = 817,5 \text{ m}^2 \times 950 \text{ W/m}^2 \times \text{Cos}^{-1}(\theta) = 776.625 \text{ W}$$

Por otra parte, el modificador por Angulo de incidencia K, considera todas las perdidas ópticas y geométricas que se presentan en el colector para un ángulo de incidencia (perdidas geométricas de final de colector, bloqueo a la radiación concentrada por parte de los soportes del tubo adsorbente y en la flexibilidad de los espejos.

El modificador del ángulo de incidencia K, depende directamente del ángulo de incidencia, siendo el valor K una función determina experimentalmente. Para este caso el valor de K es de 0,994.

Dicho esto se calcula la la potencia útil que suministra un colector Eurotrough, con base a las condiciones de diseño establecidas. Para ello se utiliza la siguiente ecuacion, estableciendo un factor de ensusamiento de 0,98.

Ecuación 11. Ecuación potencial térmica útil.

$$Q_{util} = A_C \times I \times \text{Cos}^{-1}(\theta) \times n_{opt} \times K \times F_e \times n_{th} - Q_{l05}$$

Donde:

$Q_{util}$  = Potencia termica util, expresada en W

$n_{opt}$  = Rendimiento optico

$F_e$  = Factor de ensusiamiento

$n_{th}$  = Rendimiento termico del colector

Reemplazamos los datos en la formula

$$Q_{util} = 817,5 \text{ m}^2 \times 950 \text{ W/m}^2 \times \text{Cos}^{-1}(0) \times 0,86526 \times 0,994 \times 0,98 \times 0,96 - 5.847,97 \text{ W} = 981.253 \text{ W}$$

Teniendo en cuenta que la potencia termica util se invierte en aumentar la entalpia del aceite, se presenta la ecuacion:

$$Q_{Util} = \dot{m} \times (h_{out} - h_{in}) = \dot{m} \cdot \Delta H$$

Al expresar el incremento de entalpia en funcion del calor especifico del aceite, cuya formula es dada por el fabricante, ver Anexo 1 y se integra entre las temperutas de salida y entrada del colector, se obtiene la formula.

$$981.253 \text{ W} = 6,404 \text{ kg/s} \times (1,479 \times T_{out} + 0,0014 \times T_{out}^2 - 553)$$

Aplicando la ecuacion distributiva a los terminos del parentistis, despejando y aplicando la ecuacion cuadratica se obtiene:

$$T_{out} = 322,42 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Por lo tanto si el incremento de temperatura de un colector es de:

$$322,42 \text{ }^{\circ}\text{C} - 25 \text{ }^{\circ}\text{C} = 297,42 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

#### 8.2.4 Cantidad de colectores requeridos

Debido a que se quiere tener un salto termico de 225 °C en cada fila de colectores, y un colector con las especificaciones detalladas en la Tabla 37, consigue incrementar la temperatura en 297,42 °C, se realiza en siguiente calculo, y se obtiene que seria necesario una fraccion de colector para suplir la demanda energetica. como no es posible usar una fraccion del CPC, se aproxima a 1 unidad.

$$225 \text{ }^{\circ}\text{C} / 297,42 \text{ }^{\circ}\text{C} = 0,757 = 1 \text{ Unidad}$$

#### 8.2.5 Potencia util del CPC

Aunque desde el punto de vista constructivo de campos solares se deben utilizar cantidades de colectores pares, al no ser este el caso se opta por mantener la cantidad establecida por el cálculo anterior de 1 CPC, sin embargo, se recalcula el caudal del aceite para determinar si es necesario usar el área total del CPC.

$$6,404 \text{ kg/s} \times (1/0,757) = 8,466 \text{ Kg/s}$$

Entonces la potencia termica util que se proporcionara por fila en el punto de diseño sera

$$0,757 \times 981,253 \text{ kW} = 742,32 \text{ kW}$$

Como se indica en la Ecuación 3, el CPC se diseñó para generar una potencia térmica de 5.860 kWh. No obstante, es importante contar con el factor de múltiplo solar, definido como el cociente entre la potencia térmica útil dada por el receptor en diseño y la potencia térmica requerida por el ciclo en condiciones normales (López, 2012).

Ecuación 12. Ecuación múltiplo solar.

$$SM = \frac{P_R}{P_D}$$

Donde:

SM = Múltiplo solar

$P_R$  = Potencia térmica útil en condiciones de diseño, expresada en W

$P_D$  = Potencia del ciclo, expresada en W

Como no siempre se cuenta con las condiciones óptimas de radiación, se hace necesario sobredimensionar la potencia del CPC, estableciendo el MS.

$$742,32 \text{ kW} / 618,601 \text{ kW} = 1.2$$

Contando con el MS, se calcula la potencia térmica óptima sobredimensionada

$$0,757 \text{ kWh} \times 1.2 = 7325 \text{ kWh}$$

### 8.3 ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL COLECTOR CPC ROPUESTO

Según los cálculos realizados para determinar la capacidad térmica y potencia estimada que el colector CPC elegido puede aportar al proceso de fabricación de GLG de alta densidad, se genera la siguiente tabla.

Tabla 37. Especificaciones técnicas CPC Eurotrough SKAL-ET 150.

Especificación del CPC Eurotrough SKAL-ET 150			
Variable	Variable	Dato	Unidad Medida
Longitud Tubo Absorbedor	$L_{Ta}$	148,50	m
Apertura del colector	$A_C$	5,51	m
Área apertura del colector	$A_{AC}$	817,50	$m^2$
Distancia Focal	$D_F$	1,71	m
Numero módulos	$No_M$	12	m
Longitud modulo	$L_M$	12	m
Reflector		Espejo Cristal	
Factor Concentración		82	
Peso especifico		28	$kg/m^2$
Eficiencia óptica		80	%
Cantidad	Und	1	Und

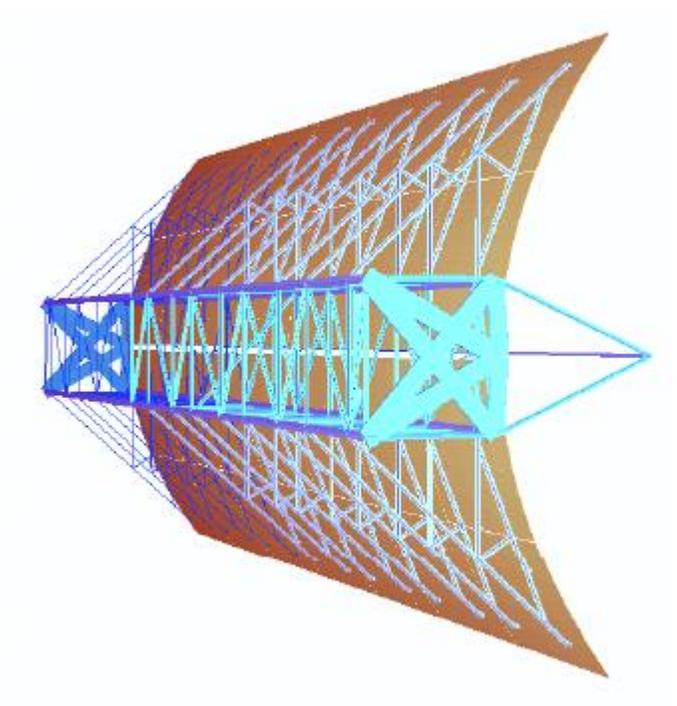
Fuente: (Elaboración propia)

Como se evidencia en la Tabla 39 el CPC tiene la capacidad de elevar la temperatura del fluido térmico a  $322.42\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatura suficiente para suplir la necesidad calorífica de cualquiera de los subprocesos térmicos anteriormente mencionados en el apartado 7.3 y de la potencia requerida por el CPC establecida en la Ecuación 3.

#### 8.4 DISEÑO DEL COLECTOR CILINDRO PARABÓLICO COMPACTO

Acorde a las necesidades térmicas del proceso de producción de GLG y según las especificaciones técnicas del colector cilindro parabólico requerido para dicha necesidad se nuestro el diseño del CPC en la

Figura 22. Diseño del colector cilindro parabólico.



Fuente: (Elaboración propia)

## **9. VARIACIÓN EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE GLG DE ALTA DENSIDAD EN TÉRMINOS TÉRMICOS Y FINANCIEROS**

En este capítulo se presenta la eficiencia energética del proceso de producción de GLG de alta densidad actual versus la eficiencia dada con el uso del colector en términos de consumo energético, potencia y factor financiero.

### **9.1 EFICIENCIA PROCESO GLG ACTUAL**

El proceso de producción de GLG actual cuenta con 6 fases, las cuales son: i. Corte, ii. Cepillado, iii. Desfibrado, iv. Preservado, Inmunizado y/o Curado, v. Secado vi. Moldeado y Prensado, de estas, las fases 4, 5 y 6 consumen energía térmica y son el principal objeto de estudio.

Una vez realizada la caracterización del proceso actual, teniendo en cuenta los requerimientos de cada una de sus etapas y hallando la temperatura consumida por las fases térmicas anteriormente mencionadas, se logró establecer que se requieren temperaturas no mayores a 250 °C en todo el ciclo, asimismo, se precisó la cantidad de energía térmica, la potencia, la cantidad y costo del gas natural requerido por el proceso para generar un tablón de GLG de alta densidad con las especificaciones técnicas mencionadas en la Tabla 22, lo cual permitió generar la siguiente tabla en la que se consolida el consumo diario y mensual para producir un tablón de GLG de alta densidad.

Tabla 38. Eficiencia proceso GLG alta densidad actual.

Eficiencia Proceso GLG Alta Densidad					
Variable	Diario	Mensual	Eficiencia x Tablón	Und	Medida
Tiempo	8	240	1,6		Hrs
Tablones Pd	20	600	1		Und
Calor Requerido	8.017.682	240.530.470	400.884		kJ
Potencia requerida	2.227	66.814	111		kWh
Gas Natural Requerido	190	5.711	10		m <sup>3</sup>
\$ Gas Natural	\$ 479.017	\$ 14.370.496	\$ 23.951		COP

Fuente: (Elaboración propia)

Actualmente el proceso requiere de al menos 400.884 kJ o en términos de potencia unos 111 kWh para producir un tablón o viga de GLG, no obstante, para producir esta energía y potencia el proceso requiere de una fuente energética, que en el caso del proceso actual está dada por una caldera cuyo combustible es el gas natural (GN). Esta caldera consume 190 m<sup>3</sup> de GN durante un turno de 8 para producir 20 tablonos, es decir casi 10 m<sup>3</sup> de GN por tablón, con un costo de \$ 2.516,46 pesos Colombianos (COP) por m<sup>3</sup> y un consumo de 5.711 m<sup>3</sup> de GN mensuales, se tendría un costo mensual de \$ 14.370.496 COP.

Aunque el consumo térmico y la potencia requeridas para la producción de GLG no variasen en pro de aumentar la eficiencia del proceso, se podría generar un aumento significativo al minimizar o suplir el combustible habitual, reduciendo de este modo los costos asociados al uso de GN y afectando positivamente la eficiencia del proceso, así como la huella de carbono.

## 9.2 CAPACIDAD APORTADA POR EL CPC

La búsqueda de una fuente de energía alternativa, sustitua o complementaria, para la generación de GLG de alta densidad, permitió comprobar que la elección de un CPC como generador térmico es viable, ya que al realizar los cálculos capacidad suministrada por el CPC Eurotrough modelo SKAL-ET 150, se halló que este podría generar una temperatura de salida de 322,42 °C, aportando al proceso una energía térmica de 26.370.000 kJ y una potencia de 7.325 kWh diariamente, por turno de 8 horas. Capacidad suficiente para suplir la demanda del proceso actual.

Tabla 39. Capacidad del CPC Eurotrough SKAL-ET 150.

Capacidad del CPC Eurotrough SKAL-ET 150			
Variable	Variable	Dato	Unidad Medida
Cantidad	Und	1	Und
Temperatura entrada	$T_{in}$	25,00	°C
Temperatura salida	$T_{out}$	322,42	°C
Salto Térmico	$\Delta_T$	297,42	°C
Calor	Q	26.370.000	kJ
Potencia x turno	kW	7.325	kWh

Fuente: (Elaboración propia)

## 9.3 VARIACION DE LA EFICIENCIA PROCESO GLG USANDO UN CPC

Teniendo en cuenta la eficiencia del proceso actual señalado en la Tabla 38, la capacidad que puede aportar el CPC visto en la Tabla 39 y con base a los datos anteriormente mencionados se evalúa el costo del consumo térmico del proceso actual versus el costo al implementar el CPC.

Tabla 40. Costo teórico producción ambos escenarios.

Variable	Costo Teórico		Und Medida
	Pd GLG Actual x Mes	Pd GLG con CPC x Mes	
<b>Tiempo</b>	240	240	Hrs
<b>Tablones Pd</b>	600	600	Und
<b>Calor Requerido</b>	240.530.470	791.100.000	kJ
<b>Potencia requerida</b>	66.814	219.750	kWh
<b>Gas Natural Requerido</b>	5.711	-	m <sup>3</sup>
<b>\$ Gas Natural</b>	\$ 14.370.496	\$ -	COP

Fuente: (Elaboración propia)

Como se evidencia en la tabla anterior el CPC cuenta con la capacidad para suplir la demanda o necesidad requeridas por el proceso actual en términos térmicos y de potencia requeridas, lo que hipotéticamente indica la sustitución del combustible fósil GN por la energía alternativa, lo cual conllevaría un aumento de la eficiencia del 100 %, no obstante, se debe realizar la evaluación financiera para hallar el escenario idóneo de costo beneficio y evidenciar la variación de la eficiencia real.

### 9.3.1 Costos de la implementación del CPC

Para suplir la demanda del proceso de producción de GLG de alta densidad actual con las especificaciones mencionadas en la Tabla 37 y según los cálculos de la Tabla 39, es necesario incorporar al proceso 1 CPC Eurotrough modelos SKAL-ET 150 de 817,50 m<sup>2</sup>, el cual tiene un costo de 206 €/m<sup>2</sup>, es decir unos \$ 876.736 \$/m<sup>2</sup> (López, 2012). Esta implementación requeriría la siguiente inversión inicial.

Tabla 41. Inversión inicial.

Inversión Inicial			
Descripción	Cantidad	Costo	% Participación
Costo CPC \$/m <sup>2</sup>	1	\$ 716.731.680	98%
Asesoría	1	\$ 18.000.000	2%
<b>Total</b>		<b>\$ 734.731.680</b>	<b>100%</b>

Fuente: (Elaboración propia)

### 9.3.2 Proyecciones de ahorro

Teniendo en cuenta que por turno de 8 horas se producen 20 tablonos de GLG y al mes aproximadamente 600 tablonos con un costo térmico unitario por consumo de GN de \$ 23.951 COP, se genera la siguiente tabla con los escenarios de ahorro propuestos mensualmente, si se usara el CPC como fuente de energía alternativa o complementaria acorde al porcentaje indicado en la Tabla 42 .

Tabla 42. Escenarios ahorro propuestos.

Escenario Ahorro Propuestos			
Escenarios	Costo GN Mensual	% Ahorro	Ahorro (COP)
Escenario 1	\$ 14.370.496	100%	\$ 14.370.496
Escenario 2	\$ 14.370.496	90%	\$ 12.933.447
Escenario 3	\$ 14.370.496	80%	\$ 11.496.397
Escenario 4	\$ 14.370.496	70%	\$ 10.059.347
Escenario 5	\$ 14.370.496	60%	\$ 8.622.298
Escenario 6	\$ 14.370.496	50%	\$ 7.185.248
Escenario 7	\$ 14.370.496	40%	\$ 5.748.199
Escenario 8	\$ 14.370.496	30%	\$ 4.311.149
Escenario 9	\$ 14.370.496	20%	\$ 2.874.099
Escenario 10	\$ 14.370.496	10%	\$ 1.437.050

Fuente: (Elaboración propia)

### 9.3.3 Viabilidad y factibilidad (VPN y TIR)

Establecido el costo total de la inversión inicial en la Tabla 41, se calculó la cantidad de cuotas necesarias para cancelar la amortización que se presenta en el Anexo 3, y se obtuvo la Tabla 43.

Tabla 43. Detalle amortización escenario 1.

Detalle Amortizacion Escenario 1 (100%)		
Descripcion	Datos	Variable
Valor Presente (VP)	\$ 734.731.680	COP
% Ahorro	0%	%
Cuota Inicial	\$ -	COP
Valor Restante	\$ <b>734.731.680</b>	COP
Tasa de Interés (iea)	24%	EA
m	12	Meses
Tasa de Interés (in)	21,71%	NMV
Tasa de Interés (ip)	1,81%	Mensual
Tiempo (n)	12	Años
Tiempo (n)	<b>144,33</b>	Meses
Anualidad (A)	\$ <b>14.370.496</b>	Mensual

Fuente: (Elaboración propia)

Como se puede observar en la Tabla 43, para amortizar el préstamo financiero de \$ 734.731.680 con interés efectivo anual (EA) de 24%, cancelando cuotas de \$ 14.370.496 COP, serían necesarios 144,33 meses o 12 años de plazo. Este tiempo presenta un gran reto para las compañías del sector productor de GLG, debido al tiempo que tendrían que comprometer recursos que podría generar un mejor costo de oportunidad (CO) en otro escenario.

Para establecer el monto máximo viable de inversión que se podría amortizar, haciendo uso del 100% del ahorro como cuota mensual en un plazo no mayor a 5 años y afrontando la misma tasa de la Tabla 43, se realizaron las iteraciones propuestas en el Anexo 4 y se obtuvo que el monto viable de inversión para el plazo establecido es de \$ 523.486.698 COP, con lo cual se genera la siguiente tabla.

Tabla 44. Detalle amortización escenario propuesto

Detalle Amortizacion Escenario Propuesto		
Descripcion	Datos	Variable
<b>Valor Presente (VP)</b>	\$ 734.731.680	COP
<b>% Ahorro</b>	29%	%
<b>Cuota Inicial</b>	\$ 211.244.982	COP
<b>Valor Restante</b>	\$ 523.486.698	COP
<b>Tasa de Interés (iea)</b>	24%	EA
<b>m</b>	12	Meses
<b>Tasa de Interés (in)</b>	21,71%	NMV
<b>Tasa de Interés (ip)</b>	1,81%	Mensual
<b>Tiempo (n)</b>	5	Años
<b>Tiempo (n)</b>	60,00	Meses
<b>Anualidad (A)</b>	\$ 14.370.496	Mensual

Fuente: (Elaboración propia)

En la Tabla 44, podemos observar que si las empresas del sector logran reducir el monto de la inversión en \$ 211.244.982 COP, haciendo uso de incentivos gubernamentales por el uso de energías limpias, como los mencionados en la ley 1715 de 2014; inversionistas, locales o extranjeros y/o adquisición de tecnología local a menor precio, la factibilidad del proyecto aumenta. Para evidenciar la amortización de esta propuesta se genera el plan de pagos, ver Anexo 6.

Sin embargo, teniendo en cuenta el contexto del sector productor de GLG, la variabilidad climática del sector objeto de estudio y siendo conservadores se evalúa

el escenario 7. El cual sugiere una sustitución de la fuente energética principal en un 40%, con un ahorro mensual por consumo de GN de \$ 5.748.199 COP. Usando dicho monto como cuota mensual para solventar la inversión inicial se evidencia una imposibilidad financiera, ya que el monto es muy bajo para suplir una inversión tan alta y el plazo sería extremadamente extenso.

Tabla 45. Detalle amortización escenario 7 (40%)

Detalle Amortización Escenario 7 (40%) 2		
Descripción	Datos	Variable
Valor Presente (VP)	\$ 734.731.680	COP
% Ahorro	72%	%
Cuota Inicial	\$ 525.337.001	COP
Valor Restante	\$ 209.394.679	COP
Tasa de Interés (iea)	24%	EA
m	12	Meses
Tasa de Interés (in)	21,71%	NMV
Tasa de Interés (ip)	1,81%	Mensual
Tiempo (n)	5	Años
Tiempo (n)	60,00	Meses
Anualidad (A)	\$ 5.748.199	Mensual

Fuente: (Elaboración propia)

Para resolver el error de plazo en este escenario el monto mínimo viable de inversión debería ser \$ 209.394.679 COP, con un plazo de 5 años, lo que indica que las empresas del sector tendrían que requerir apoyos financieros para reducir el monto de la inversión en \$ 525.337.001 COP, como se observa en la Tabla 45. Para evidenciar la amortización de esta propuesta se genera el plan de pagos, ver Anexo 6

## 10. CONCLUSIONES

### OBJETIVO 1

Dado que las etapas de producción de GLG de baja y alta densidad pueden variar según el proceso que se utilice, se logró establecer que seis de estas son constantes y mínimamente necesarias para desarrollar el producto final, estas son las siguientes: iv. Preservado, Inmunizado y/o Curado, v. Secado vi. Moldeado y Prensado, las cuales son consumidoras de energía térmica y de suma importancia para objeto de este estudio.

Las fases térmicas se posicionan según su consumo calorífico de este modo: moldeado y prensado, con un requerimiento de 200 °C; Preservado con un requerimiento de 100 °C y Secado con un requerimiento de 100 °C; este último es el proceso de mayor tiempo precisa con 16 Hrs. No obstante, para proveedor de este calor a las fases, fue necesario que el fluido caloportador alcanzase al menos un 20% más que la mayor temperatura requerida, es decir unos 250 °C.

La producción de tablonos de GLG del proceso analizado está dada a razón de 4 tablonos por prensado con una duración de 1.6 Hrs, es decir que la capacidad productiva por turno es de 20 tablonos, y para suplir este nivel productivo se requieren aproximadamente 55 guaduas. El costo térmico de cada tablón es de \$ 23.951 COP, y este tiene un consumo de 10 m<sup>3</sup> de GN.

## OBJETIVO 2

El terreno objeto de estudio cuenta con la irradiación solar promedio diaria de 950 W/m<sup>2</sup> suficiente para implementar un CPC y suplir parcialmente la demanda térmica del proceso de producción de GLG o de alguna de sus fases.

La fuente de energía alterna propicia para suplir la demanda térmica del proceso es un CPC de marca Eurotrough, modelo SKAL-ET 150, cuyo dimensión y costo alcanzan los 817,5 m<sup>2</sup> y \$ 876.736 \$/m<sup>2</sup> respectivamente. Este CPC es capaz de producir una potencia de 7.325 kWh.

El fluido caloportador idóneo para el estudio e implementación de fuentes de energía alternativas basados en la plataforma de colectores solares cilindros parabólicos con temperaturas entre 25 y 500 °C, es el Therminol VP-01, por sus características físicas y su comportamiento térmico.

## OBJETIVO 3

EL CPC Eurotrough SKAL-ET 150 puede soportar la demanda térmica requerida por el proceso de producción de GLG, reduciendo el uso del combustible fósil actual (GN), de tal forma que se generen ahorros por su consumo, al punto de reducir el costo térmico por tablón de \$ 23.951 a \$ 0 COP.

La inversión necesaria para la implementación del CPC Eurotrough SKAL ET-150 es de \$ 734.731.680 COP, esta inversión debería soportarse con el ahorro mensual generado por la reducción de consumo de GN que según los cálculos realizados es de \$ 14.370.496 COP mensuales. Sin embargo, al plantear el escenario 1 de amortización con el 100% del ahorro, se obtuvo que su factibilidad está a razón de un plazo de 12 o superiores, tiempo demasiado extenso para el retorno de la

inversión. Pese a esto, al reformular el escenario 1, con inversión adicional del 29%, aumenta la factibilidad en el plazo esperado de 5 años.

También se planteó el escenario 7, amortizando la inversión inicial con el 40% del ahorro por consumo de GN y se obtuvo un error plazo, debido a que la cuota es demasiado baja. Siendo este el escenario más conservador se replanteo a un plazo de 5 años con la misma cuota, pero esto condiciono factibilidad de la amortización a reducir el monto de la inversión en un 72%.

Es necesario obtener recursos adicionales, incentivos y/o apoyos por uso de energías alternativas como los otorgados por el gobierno colombiano con la Ley 1715 de 21014, para minimizar el impacto de la inversión inicial y aumentar la factibilidad del proyecto, además se pueden realizar estudio para desarrollar colectores CPC en Colombia con el fin de reducir los costos de los mismos y aumentar la implementación de esta fuente alternativa de energía en proyectos de energías limpias.

## **11.RECOMENDACIONES**

En vista la viabilidad del proyecto y su no factibilidad financiera para los escenarios planteados sin reducción del monto inicial de inversión, se recomienda a las empresas del sector productor de GLG, buscar apoyos económicos para el desarrollo e implementación de este modelo de energía alternativa, además se recomienda evaluar los beneficios legales y legislativos del país al implementar estas tecnologías limpias, como los otorgados por el gobierno colombiano con la Ley 1715 de 2014.

Se propone Generar proyectos de investigación basados en el uso de energías alternativas en las universidades para propender por la generación de nuevas tecnologías que contribuyan al crecimiento del país.

Tener en cuenta la reducción de gases de efecto invernadero que generaría la implementación de este tipo de fuentes de energías alternas en la industria, su aporte mediambiental y el impacto en su entorno social.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adriana, G., Quispe, E., & Rosaura, C. (2013). La Industria Del Cemento Por Proceso Húmedo a Integral De La Energía. *Dyna*, 80, 115–123.
- Altomonte, H., Coviello, M., & F. Lutz, W. (2003). Energias Renovables y Eficiencia Energetica En America Latina y en Caribe. Restricciones y Perspectivas. In *CEPAL-Serie Recursos naturales e infraestructura* (Vol. 65).
- Arena, D. A., & Zapata, H. S. (2011). Libro interactivo sobre energia solar y sus aplicaciones. *Phys. Rev. E*, 24.
- Asociación colombiana de ingeniería sismica (AIS). (2010). Reglamento Colombiano de construccion sismorresistente Título G-Estructuras de madera y estructuras de guadua. NSR-10. *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*, 158.
- AulaFacil. (2020). *AulaFacil*.
- Bueno, M. del P. (2016). *El Acuerdo de París: ¿una nueva idea sobre la arquitectura climática internacional?* 33.
- Builes, T., & Giraldo, C. (2011). *Estado del arte de la guadua como material alternativo para la construcción sostenible*.
- Cabal, Á., & González, M. (1991). Propiedades y funciones biológicas del agua. *Chirurgia*, 4(1–2), 46–49.

- Calle, J., Fajardo, J., & Sánchez, L. (2010). Agua caliente sanitaria de uso doméstico con energía solar, una alternativa para la ciudad de Cuenca. *Ingenius*, 4, 57–65. <https://doi.org/10.17163/ings.n4.2010.06>
- Camacho, K. (2019). *Modelación y simulación de un sistema de concentración solar cilíndrica parabólica para la generación de 100 KW en el departamento de la guajira- Colombia*. 2, 89.
- Carretero, A., & García, J. M. (2012). Gestión de la eficiencia energética: Cálculo del consumo, indicadores y mejora. *AENORedcciones*, 1–28.
- Castañeda, N. M. (2018). *Estudio de factibilidad técnica y financiera de producir tablón de alta densidad en GLG* (Vol. 2, Issue 2).
- Charry, S. A., & Perez, A. J. (2017). Efectos de la estimulación hidráulica (fracking) en el recurso hídrico: Implicaciones en el contexto colombiano. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 28(1), 135–164. <https://doi.org/10.18359/rcin.2549>
- Chrysanthis, P. K., Raghuram, S., & Ramamritham, K. (1991). Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. *Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, 61702, 108–117. <https://doi.org/10.1145/115790.115803>
- Colombia Congreso. (2001). Ley 697 de 2001. *Diario Oficial*, CXXXVII(44573), 5–8.
- Comision de Regulacion de Energia y Gas CREG. (2005). *Comisión de regulación de energía y gas analisis del mercado de gas natural y regimen de regulación de precios de suministro*. 56.

- Congreso de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014. *Diario Oficial*, 104.
- Correa, G., & Montero, A. V. (2013). *Análisis energético y ambiental en la producción de tableros de esterilla de guadua laminada*. 1–10.
- Delgado, E. (2007). *Diseño, Construcción Y Evaluación De Tres Colectores Solares Térmicos Parte 1: Estado Del Arte*. 6.
- Díaz, F. (2011). Análisis de la participación de los sectores económicos o productivos de Colombia en los mercados globalizados minor en negocios internacionales. *Sistem Otot*, 11(2), 1–21.
- Echevarría, C. (2011). *Diseño de un colector cilindro parabólico compuesto con aplicación para el calentamiento de agua*. 27–43.
- España, M. B. (2016). *Diseño y construcción de un seguidor solar de 2 ejes Autor*.
- Gil, J. E. (2012). *Protocolo De Kioto, Responsabilidades Y Consecuencias*. 6.
- Gómez, B. (2021). *Dimensionamiento De Una Central Termosolar De Colectores Cilíndrico- Parabólicos Para Producir 5mw En El Distrito De Olmos*. 1–89.
- González Arias, A. (1988). El concepto “energía” en la enseñanza de las ciencias. *Revista Iberoamericana de Educación*, January 2006, 1–7.
- González, J. P. (2018). *Diseño de un concentrador solar compacto de foco fijo de alta eficiencia para aplicaciones de alta temperatura*. 156.

- IDEAM. (2015). Irradiación Global Horizontal Medio Diario Anual. *Ideam*, 1. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html%0Ahttp://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>
- IDEAM. (2020). *Irradiación global horizontal media diaria Mapa Calor Colombia*. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- Llamas, P. L. (2009). *Eficiencia energética y medio ambiente*. 75–92.
- López, M. Á. G. (2012). Central termosolar de 50 MW en Murcia con colectores cilindro parabólicos. *Escuela Técnica Superior De Ingenieros De Minas, DEPARTAMEN*, 122.
- Luma. (2020). *Luma*. [https://www.luma.com.mx/490-thickbox\\_default/panel-solar-para-agua-de-piscina-para-calentamiento-de-agua.jpg](https://www.luma.com.mx/490-thickbox_default/panel-solar-para-agua-de-piscina-para-calentamiento-de-agua.jpg)
- Molina, A. M., & Castro, G. (2015). Análisis de eficiencia del sector industrial manufacturero en cinco países suramericanos, 1995-2008. *Civilizar*, 15(29), 93–112. <https://doi.org/10.22518/16578953.477>
- Moreno, J. R., & Cendales, M. L. (2018). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia kunth originaria de armenia quindio*. 2(2), 2016.
- Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL. In *Publicación de las Naciones Unidas*.
- Nandwani, S. (2005). Energía solar. Conceptos básicos y su utilización. *Universidad*

*Nacional, Heredia (Costa Rica).*, 1–26.

Paredes, C. (2012). *Diseño de captador solar cilindro parabólico para aplicaciones rurales en paraguay.* 1–83.

PCQ. (2018). *No Title.* <https://pcqro.com.mx/wp-content/uploads/2017/06/csolar10.jpg>

Placco, C., Saravia, L., & Cadena, C. (2015). *Colectores Solares Para Agua Caliente. Inenco, Figura 1, 17.*

Poveda, M. (2007). *Eficiencia Energética : Recurso No. Olade, 1–19.*

Repáraz, I. C. (2010). *Análisis De La Tecnología De Concentración Solar Mediante Colectores Cilindro Parabólicos Para Generación Eléctrica. Universidad de Zaragoza, 224.*

Republica de Colombia. (2001). *LEY 697 de 2001. 2001(Octubre 3), 11.*

Rodilla, E. (2010). *La Energia. Tecnologías 3ºeso, 1–15.* <http://bit.ly/2VvTWnP>

Rodríguez, R., López, F., Araiza, M., Olvera, C., & Dorrbercker, S. (2016). *Diseño de un colector solar de placa plana. Ingeniería Energética, XXXVII(1), 15–24.*

Selectra. (2022). *Factor de conversión del gas natural, de m3 a kWh.* <https://preciogas.com/faq/factor-conversion-gas-natural-kwh#conversión-m3-kilovatios-hora-gas-natural>

Torres, K. J., & Florez, L. S. (2017). *Caracterización del eslabón de proveedores y diseño de la distribución en planta para el proceso de elaboración de vigas estructurales GLG. 110265, 110493.*

Velez, S. (2005). La Guauda Angustifolia “El Bambú Colombiano.” *Przegląd Włokienniczy*, 59(12).

Zapata, J. A. M., & Bustos, O. J. O. (2004). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa productora y exportadora de muebles fabricados en guadua.* 0–129.

## ANEXOS

Anexo 1. Propiedades vs temperatura Therminol VP-1

Temperature °C	Density kg/m <sup>3</sup>	Thermal Conductivity W/m.K	Heat Capacity kJ/kg.K	Viscosity		Vapour pressure (absolute) kPa*	Enthalpy kJ/kg	Latent Heat vap. kJ/kg
				Dynamic mPa.s	Kinematic mm <sup>2</sup> /s**			
12	1071	0,137	1,523	5,48	5,12	-	0	419,0
20	1064	0,136	1,546	4,29	4,03	-	12,3	414,7
30	1056	0,135	1,575	3,28	3,10	-	27,9	409,3
40	1048	0,134	1,604	2,60	2,48	-	43,8	403,9
50	1040	0,133	1,633	2,12	2,03	-	60,0	398,6
60	1032	0,132	1,662	1,761	1,707	-	76,4	393,3
70	1024	0,131	1,690	1,492	1,458	-	93,2	388,1
80	1015	0,130	1,719	1,284	1,265	-	110,3	382,9
90	1007	0,129	1,747	1,119	1,111	-	127,6	377,8
100	999	0,128	1,775	0,985	0,986	0,5	145,2	372,7
110	991	0,126	1,803	0,875	0,884	0,8	163,1	367,6
120	982	0,125	1,831	0,784	0,798	1	181,3	362,6
130	974	0,124	1,858	0,707	0,726	2	199,7	357,5
140	965	0,123	1,886	0,642	0,665	3	218,4	352,6
150	957	0,121	1,913	0,585	0,612	5	237,4	347,6
160	948	0,120	1,940	0,537	0,566	7	256,7	342,7
170	940	0,118	1,968	0,494	0,526	9	276,2	337,7
180	931	0,117	1,995	0,457	0,491	13	296,0	332,8
190	922	0,115	2,021	0,424	0,460	18	316,1	327,9
200	913	0,114	2,048	0,395	0,432	24	336,5	323,0
210	904	0,112	2,075	0,368	0,407	32	357,1	318,0
220	895	0,111	2,101	0,345	0,385	42	378,0	313,0
230	886	0,109	2,128	0,324	0,366	54	399,1	308,0
240	877	0,107	2,154	0,305	0,348	68	420,5	303,0
250	867	0,106	2,181	0,288	0,332	86	442,2	297,9
260	857	0,104	2,207	0,272	0,317	108	464,1	292,7
270	848	0,102	2,234	0,258	0,304	133	486,3	287,5
280	838	0,100	2,260	0,244	0,292	163	508,8	282,2
290	828	0,098	2,287	0,232	0,281	198	531,6	276,8
300	817	0,096	2,314	0,221	0,271	239	554,6	271,2
310	806	0,095	2,341	0,211	0,262	286	577,8	265,6
320	796	0,093	2,369	0,202	0,254	340	601,4	259,7
330	784	0,091	2,397	0,193	0,246	401	625,2	253,8
340	773	0,089	2,425	0,185	0,239	470	649,3	247,6
350	761	0,086	2,454	0,177	0,233	548	673,7	241,3
360	749	0,084	2,485	0,170	0,227	635	698,4	234,7
370	736	0,082	2,517	0,164	0,222	732	723,4	227,8
380	723	0,080	2,551	0,158	0,218	840	748,8	220,7
390	709	0,078	2,588	0,152	0,214	959	774,4	213,2
400	694	0,076	2,628	0,146	0,211	1090	800,5	205,3
410	679	0,073	2,674	0,141	0,208	1230	827,0	197,0
420	662	0,071	2,729	0,137	0,206	1390	854,0	188,0
425	654	0,070	2,760	0,134	0,205	1470	867,7	183,3

Temperature	Density	Thermal Conductivity	Heat Capacity	Enthalpy*	Dynamic Viskosity
°C	kg/m <sup>3</sup>	W/m.K	kJ/kg.K	kJ/kg	mPa.s
12	-	0,0081	0,975	419,0	0,0057
20	-	0,0085	1,003	427,0	0,0059
30	-	0,0090	1,037	437,2	0,0061
40	-	0,0095	1,070	447,7	0,0063
50	-	0,0100	1,104	458,6	0,0065
60	-	0,0105	1,137	469,7	0,0067
70	-	0,0110	1,170	481,3	0,0069
80	-	0,0116	1,203	493,2	0,0071
90	-	0,0121	1,235	505,4	0,0073
100	-	0,0126	1,267	517,9	0,0075
110	0,042	0,0132	1,299	530,7	0,0077
120	0,065	0,0137	1,331	543,9	0,0079
130	0,099	0,0143	1,362	557,2	0,0081
140	0,148	0,0149	1,393	571,0	0,0083
150	0,214	0,0154	1,424	585,0	0,0085
160	0,303	0,0160	1,454	599,4	0,0087
170	0,422	0,0166	1,484	613,9	0,0089
180	0,575	0,0171	1,514	628,8	0,0091
190	0,772	0,0177	1,543	644,0	0,0094
200	1,02	0,0183	1,572	659,5	0,0096
210	1,33	0,0189	1,601	675,1	0,0098
220	1,71	0,0195	1,629	691,0	0,0100
230	2,17	0,0201	1,657	707,1	0,0102
240	2,72	0,0207	1,685	723,5	0,0104
250	3,38	0,0213	1,712	740,1	0,0106
260	4,17	0,0220	1,739	756,8	0,0108
270	5,09	0,0226	1,766	773,8	0,0110
280	6,17	0,0232	1,792	791,0	0,0112
290	7,42	0,0238	1,819	808,4	0,0114
300	8,86	0,0245	1,845	825,8	0,0116
310	10,5	0,0251	1,871	843,4	0,0118
320	12,4	0,0258	1,897	861,1	0,0120
330	14,6	0,0264	1,923	879,0	0,0122
340	17,0	0,0271	1,948	896,9	0,0124
350	19,8	0,0277	1,974	915,0	0,0126
360	22,9	0,0284	2,001	933,1	0,0128
370	26,5	0,0291	2,027	951,2	0,0130
380	30,5	0,0298	2,054	969,5	0,0132
390	35,0	0,0304	2,082	987,6	0,0134
400	40,1	0,0311	2,111	1005,8	0,0136
410	45,8	0,0318	2,142	1024,0	0,0138
420	52,4	0,0325	2,175	1042,0	0,0140

\* the enthalpy basis is that of gas at 12°C

Anexo 2. Tarifas gas natural valle del Cauca



**MERCADO RELEVANTE CONFORMADO POR LOS SIGUIENTES GRUPOS:** Grupo No. 1: Cali, Grupo No. 2: Puerto Tejada, Santander de Quichaco y Villavieja, Grupo No. 3: Buenaventura, Grupo No. 4: Alcalá, Bolívar, Calima, El Danto, Rufino, Toro, Trujillo, Ulloa, Venadillo, Vijes, Yotoco, Gaitán, Corinto, Guachení, Miranda y Pailón, Grupo No. 5: Andalucía, Ansermauevo, Buga, Bugalagrande, Calotoña, Casolaria, Cartago, El Cerro, Florida, Ginebra, Guacarí, Jamundí, La Unión, La Victoria, Obando, Palmira, Pradera, Roldanillo, San Pedro, Sevilla, Tuluá, Yumbo y Zarzal.

**CONSIDERANDO QUE:**

1. La Comisión de Regulación de Energía y Gas, mediante Resolución 137 de 2013 Art. 4, estableció las fórmulas tarifarias generales aplicables a los usuarios regulados del servicio público de gas combustible por redes de tubería:

$$CIV_{m,i,j} = \frac{C_{m,i,j} + F_{m,i,j}}{1 - \rho} + (D_{m,i,j} + F_{m,i,j}) + C_{m,i,j} + C_{m,i,j}$$

$$CIV_{m,i,j} = C_{m,i,j}$$

Donde:

- $C_{m,i,j}$ : Cargo Variable.
- $C_{m,i,j}$ : Cargo Fijo.
- $D_{m,i,j}$ : Mes de prestación del servicio.
- $\rho$ : Mercado relevante de Comercialización.
- $F_{m,i,j}$ : Comercializador.
- $C_{m,i,j}$ : Costo Promedio unitario en \$/m<sup>3</sup> a las compras de Gas Natural destinado a usuarios regulados.
- $F_{m,i,j}$ : Costo unitario en \$/m<sup>3</sup> correspondiente al transporte de gas combustible destinado a usuarios regulados.
- $F_{m,i,j}$ : Costo expresado en \$/m<sup>3</sup> por uso del sistema de distribución de gas.
- $F_{m,i,j}$ : Factor multiplicador de poder calorífico.
- $C_{m,i,j}$ : Componente variable del costo de comercialización expresado en \$/m<sup>3</sup>.
- $C_{m,i,j}$ : Componente fijo del costo de comercialización expresado en pesos por factor del gas combustible por redes de tubería.
- $\rho$ : Reventas reconocidas.

2. La Resolución CREG 186 de 2010 modificada por las Resoluciones CREG 186 de 2011, CREG 241 de 2015, CREG 152 de 2018 y CREG 104 de 2020, reglamenta el otorgamiento de subsidios para los estratos 1 y 2, y la Resolución CREG 015 de 1997 establece los porcentajes de contribución para los usuarios.

3. La Resolución CREG 214 de 2021 establece la fórmula para el cálculo de los subsidios aplicables al consumo de gas combustible por redes de tubería, a usuarios residenciales de estratos 1 y 2, hasta el 31 de diciembre de 2022.

4. La Resolución CREG 197 de 2017, aprueba el cargo transitorio por uso del sistema de distribución ubicado los municipios de Alcalá, Andalucía, Ansermauevo, Bolívar, Buenaventura, Buga, Bugalagrande, Calotoña, Cali, Calima, Caloto, Casolaria, Cartago, Corinto, El Cerro, El Danto, Florida, Ginebra, Guacarí, Guachení, Jamundí, La Unión, La Victoria, Miranda, Obando, Palmira, Pradera, Puerto Tejada, Rufino, Roldanillo, San Pedro, Santander de Quichaco, Sevilla, Toro, Trujillo, Tuluá, Ulloa, Venadillo, Vijes, Villavieja, Yotoco, Yumbo y Zarzal.

5. Las tarifas se pueden visualizar en página web [www.gdo.com.co/Clientes/Informacion-Tarifaria](http://www.gdo.com.co/Clientes/Informacion-Tarifaria).

6. La Resolución CREG 048 de 2020, establece una opción tarifaria de carácter transitorio, que las empresas comercializadoras de gas combustible por redes de tubería obligatoriamente deberán ofrecer a los usuarios regulados, para determinar el componente variable del Costo Unitario de Prestación del Servicio que se les cobrará, conforme a las reglas allí establecidas.

7. Las tarifas para otros servicios, así como los porcentajes de contribución a aplicar durante el año 2022 queda definidos de acuerdo con lo detallado en la siguiente tabla:

Tarifas para Otros Servicios		Contribuciones	
Cargo de Conexión	\$ 4.57.500	Estratos 1 y 2	20.00%
Reconexión desde el centro de medición**	\$ 12.300	No Residencial	8.90%
Reconexión desde acomoderador**	\$ 145.000		
Reconexión Industrial del BOP	\$ 237.254		
Notificación Periódica Residencial IVA incluido	\$ 38.537		
Inspección autorizacional Línea Medición	\$ 15.461		
Suspensión Autorizacional de Acomoderador	\$ 91.371		

\*\* Se tarifa según el acuerdo por consumo entre 0 a 30 m<sup>3</sup>  
 \* Incluye costo por medición residencial y comercial.

**Informe que para el mes de Agosto 2022 la tarifa de Gas Natural es la siguiente:**

U m,i,j	1,137.46	C m,i,j	6.89
F m,i,j	868.33	C m,i,j	6.00
D m,i,j Residencial	596.99	C m,i,j Cali	2,728.83
D m,i,j No Residencial	153.43	C m,i,j Buenaventura	2,596.48
F m,i,j	1.88	C m,i,j 118 municipios	2,251.00
F Factual	8.80	C m,i,j 23 municipios	3,248.00

8. Los cargos de distribución y las tarifas a usuarios regulados según la Resolución CREG 137 son:

Usuarios Regulados	Rango	Rango de Consumo		CIV m,i,j	D m,i,j
		Inicial	Final		
Residencial	Rango 1	0	En Adelante	2,743.82	686.34
	Rango 2	5,201	En Adelante	2,524.48	525.95
Comercial	Rango 1	0	5,200	2,533.48	487.90
	Rango 2	5,201	15,000	2,526.48	474.30
	Rango 3	15,001	30,000	2,447.48	425.35
	Rango 4	30,001	40,000	2,429.48	372.30
	Rango 5	40,001	50,000	2,424.48	352.90
	Rango 6	50,001	75,000	2,422.48	320.30
Industrial Manufactura	Rango 1	0	5,200	2,543.48	530.30
	Rango 2	5,201	15,000	2,536.48	478.30
	Rango 3	15,001	30,000	2,457.48	425.35
	Rango 4	30,001	40,000	2,439.48	372.30
	Rango 5	40,001	50,000	2,434.48	352.90
	Rango 6	50,001	75,000	2,432.48	320.30
Industrial Otros	Rango 1	0	5,200	2,543.48	530.30
	Rango 2	5,201	15,000	2,536.48	478.30
	Rango 3	15,001	30,000	2,458.48	424.35
	Rango 4	30,001	40,000	2,440.48	371.30
	Rango 5	40,001	50,000	2,435.48	351.90
	Rango 6	50,001	75,000	2,433.48	319.30

Mercado Relevante	Categoría	Subcategoría	CIV m,i,j	TAR	Subsidio
Grupo No.1	Residencial	Estrato 1	2,827.84	2,246.24	58.60
		Estrato 2	2,819.76	1,562.71	46.58
Grupo No.2	Residencial	Estrato 1	3,123.39	1,280.88	58.99
		Estrato 2	3,116.81	1,626.78	46.83
Grupo No.3	Residencial	Estrato 1	3,117.34	1,281.56	58.89
		Estrato 2	3,098.31	1,588.01	46.81
Grupo No.4	Residencial	Estrato 1	2,967.34	1,278.58	58.93
		Estrato 2	2,971.33	1,527.54	46.83
Grupo No.5	Residencial	Estrato 1	3,064.43	1,264.48	58.88
		Estrato 2	3,074.51	1,577.79	46.68

9. Las tarifas transitorias a usuarios regulados según la Resolución CREG 048 del 2020 modificada por la Resolución CREG 137 son:

Usuarios Regulados	Rango	Rango de Consumo		CIV m,i,j	Diferencial
		Inicial	Final		
Residencial	Rango 1	0	En Adelante	2,618.02	122.80
	Rango 2	5,201	En Adelante	2,398.72	47.70
Comercial	Rango 1	0	5,200	2,386.02	222.43
	Rango 2	5,201	En Adelante	2,166.72	222.43

Mercado Relevante	Categoría	Subcategoría	CIV m,i,j	TAR	Subsidio
Grupo No.1	Residencial	Estrato 1	2,953.04	1,187.57	59.126
		Estrato 2	2,914.94	1,486.11	46.888
Grupo No.2	Residencial	Estrato 1	3,000.59	1,223.11	59.245
		Estrato 2	2,914.21	1,526.61	49.868
Grupo No.3	Residencial	Estrato 1	2,964.52	1,226.84	59.295
		Estrato 2	2,967.51	1,521.61	46.726
Grupo No.4	Residencial	Estrato 1	2,864.47	1,192.88	59.225
		Estrato 2	2,854.54	1,455.11	46.958
Grupo No.5	Residencial	Estrato 1	2,971.44	1,196.88	59.126
		Estrato 2	2,951.71	1,508.84	46.888

10. Los cargos de distribución y las tarifas a Usuarios No Regulados según la Resolución CREG 137 son:

Usuarios No Regulados	Rango	Rango de Consumo		D m,i,j
		Inicial	Final	
Industrial	Rango 4	75,001	200,000	150.00
	Rango 5	200,001	400,000	187.00
	Rango 6	400,001	700,000	182.00
	Rango 7	700,001	En Adelante	180.00
Sustracción de Sólidos	Rango 1	0	100,000	123.00
	Rango 2	100,001	500,000	276.00
	Rango 3	500,001	1,000,000	211.00
	Rango 4	1,000,001	En Adelante	187.00
Autogeneración / Cogeneración	Rango 1	0	100,000	131.00
	Rango 2	100,001	500,000	284.00
	Rango 3	500,001	1,000,000	225.00
	Rango 4	1,000,001	En Adelante	197.00
Medio	Rango 1	0	5,000,000	280.00
	Rango 2	5,000,001	En Adelante	280.00
ESS Casilla	Rango 1	0	100,000	433.00
	Rango 2	100,001	En Adelante	433.00
ESS Pública	Rango 1	0	100,000	433.00
	Rango 2	100,001	En Adelante	433.00
ESS Pública	Rango 1	0	100,000	433.00
	Rango 2	100,001	En Adelante	433.00

Anexo 3. Amortización crédito

5	\$	730.289.039	\$	14.370.496	\$	13.209.163	\$	1.161.333	\$	729.127.706
6	\$	729.127.706	\$	14.370.496	\$	13.188.159	\$	1.182.949	\$	727.939.367
7	\$	727.945.367	\$	14.370.496	\$	13.166.772	\$	1.203.724	\$	726.741.643
8	\$	726.741.643	\$	14.370.496	\$	13.144.999	\$	1.225.497	\$	725.516.146
9	\$	725.516.146	\$	14.370.496	\$	13.122.833	\$	1.247.663	\$	724.268.483
10	\$	724.268.483	\$	14.370.496	\$	13.100.266	\$	1.270.230	\$	722.998.250
11	\$	722.998.252	\$	14.370.496	\$	13.077.294	\$	1.293.206	\$	721.705.046
12	\$	721.705.046	\$	14.370.496	\$	13.053.900	\$	1.316.597	\$	720.388.450
13	\$	720.388.450	\$	14.370.496	\$	13.030.086	\$	1.340.411	\$	719.048.039
14	\$	719.048.039	\$	14.370.496	\$	13.005.841	\$	1.364.656	\$	717.683.383
15	\$	717.683.383	\$	14.370.496	\$	12.981.157	\$	1.389.339	\$	716.294.044
16	\$	716.294.044	\$	14.370.496	\$	12.956.028	\$	1.414.469	\$	714.879.575
17	\$	714.879.575	\$	14.370.496	\$	12.930.443	\$	1.440.053	\$	713.439.522
18	\$	713.439.522	\$	14.370.496	\$	12.904.396	\$	1.466.100	\$	711.973.427
19	\$	711.973.422	\$	14.370.496	\$	12.877.878	\$	1.492.618	\$	710.480.804
20	\$	710.480.804	\$	14.370.496	\$	12.850.889	\$	1.519.616	\$	708.961.187
21	\$	708.961.187	\$	14.370.496	\$	12.823.394	\$	1.547.102	\$	707.414.085
22	\$	707.414.085	\$	14.370.496	\$	12.795.411	\$	1.575.086	\$	705.838.999
23	\$	705.838.999	\$	14.370.496	\$	12.766.921	\$	1.603.575	\$	704.235.424
24	\$	704.235.424	\$	14.370.496	\$	12.737.916	\$	1.632.580	\$	702.602.844
25	\$	702.602.844	\$	14.370.496	\$	12.708.387	\$	1.662.109	\$	700.940.734
26	\$	700.940.734	\$	14.370.496	\$	12.678.323	\$	1.692.173	\$	699.248.561
27	\$	699.248.561	\$	14.370.496	\$	12.647.716	\$	1.722.800	\$	697.525.781
28	\$	697.525.781	\$	14.370.496	\$	12.616.555	\$	1.753.941	\$	695.771.840
29	\$	695.771.840	\$	14.370.496	\$	12.584.831	\$	1.785.666	\$	693.986.174
30	\$	693.986.174	\$	14.370.496	\$	12.552.532	\$	1.817.964	\$	692.168.210
31	\$	692.168.210	\$	14.370.496	\$	12.519.650	\$	1.850.847	\$	690.317.363
32	\$	690.317.363	\$	14.370.496	\$	12.486.172	\$	1.884.324	\$	688.433.039
33	\$	688.433.039	\$	14.370.496	\$	12.452.089	\$	1.918.407	\$	686.514.632
34	\$	686.514.632	\$	14.370.496	\$	12.417.390	\$	1.953.106	\$	684.561.525
35	\$	684.561.525	\$	14.370.496	\$	12.382.063	\$	1.988.433	\$	682.573.099
36	\$	682.573.092	\$	14.370.496	\$	12.346.097	\$	2.024.399	\$	680.548.693
37	\$	680.548.693	\$	14.370.496	\$	12.309.481	\$	2.061.016	\$	678.487.677
38	\$	678.487.677	\$	14.370.496	\$	12.272.202	\$	2.098.295	\$	676.389.383
39	\$	676.389.383	\$	14.370.496	\$	12.234.249	\$	2.136.248	\$	674.253.135
40	\$	674.253.135	\$	14.370.496	\$	12.195.609	\$	2.174.887	\$	672.078.248
41	\$	672.078.248	\$	14.370.496	\$	12.156.271	\$	2.214.225	\$	669.864.022
42	\$	669.864.022	\$	14.370.496	\$	12.116.221	\$	2.254.276	\$	667.609.746
43	\$	667.609.746	\$	14.370.496	\$	12.075.446	\$	2.295.050	\$	665.314.696
44	\$	665.314.696	\$	14.370.496	\$	12.033.934	\$	2.336.565	\$	662.978.133
45	\$	662.978.135	\$	14.370.496	\$	11.991.672	\$	2.378.825	\$	660.599.310
46	\$	660.599.310	\$	14.370.496	\$	11.948.645	\$	2.421.852	\$	658.177.458
47	\$	658.177.458	\$	14.370.496	\$	11.904.839	\$	2.465.657	\$	655.711.861
48	\$	655.711.801	\$	14.370.496	\$	11.860.241	\$	2.510.255	\$	653.201.546
49	\$	653.201.546	\$	14.370.496	\$	11.814.837	\$	2.555.660	\$	650.645.886
50	\$	650.645.886	\$	14.370.496	\$	11.768.611	\$	2.601.885	\$	648.044.001
51	\$	648.044.001	\$	14.370.496	\$	11.721.549	\$	2.648.947	\$	645.395.054
52	\$	645.395.054	\$	14.370.496	\$	11.673.636	\$	2.696.860	\$	642.698.194
53	\$	642.698.194	\$	14.370.496	\$	11.624.857	\$	2.745.645	\$	639.952.525
54	\$	639.952.554	\$	14.370.496	\$	11.575.195	\$	2.795.302	\$	637.157.252
55	\$	637.157.252	\$	14.370.496	\$	11.524.634	\$	2.845.862	\$	634.311.390
56	\$	634.311.390	\$	14.370.496	\$	11.472.160	\$	2.897.333	\$	631.414.053
57	\$	631.414.053	\$	14.370.496	\$	11.420.754	\$	2.949.743	\$	628.464.311
58	\$	628.464.311	\$	14.370.496	\$	11.367.400	\$	3.003.096	\$	625.461.214
59	\$	625.461.214	\$	14.370.496	\$	11.313.051	\$	3.057.419	\$	622.403.789
60	\$	622.403.799	\$	14.370.496	\$	11.257.780	\$	3.112.716	\$	619.291.083
61	\$	619.291.083	\$	14.370.496	\$	11.201.479	\$	3.169.018	\$	616.122.065
62	\$	616.122.065	\$	14.370.496	\$	11.144.159	\$	3.226.316	\$	612.895.727
63	\$	612.895.727	\$	14.370.496	\$	11.085.802	\$	3.284.694	\$	609.611.033
64	\$	609.611.033	\$	14.370.496	\$	11.026.390	\$	3.344.107	\$	606.266.927
65	\$	606.266.927	\$	14.370.496	\$	10.965.903	\$	3.402.862	\$	602.862.333
66	\$	602.862.333	\$	14.370.496	\$	10.904.322	\$	3.466.174	\$	599.396.159
67	\$	599.396.159	\$	14.370.496	\$	10.841.627	\$	3.528.869	\$	595.867.290
68	\$	595.867.290	\$	14.370.496	\$	10.777.799	\$	3.592.698	\$	592.274.592
69	\$	592.274.592	\$	14.370.496	\$	10.712.816	\$	3.657.681	\$	588.616.912
70	\$	588.616.912	\$	14.370.496	\$	10.646.657	\$	3.723.839	\$	584.893.072
71	\$	584.893.072	\$	14.370.496	\$	10.579.302	\$	3.791.195	\$	581.101.877
72	\$	581.101.877	\$	14.370.496	\$	10.510.728	\$	3.859.768	\$	577.242.109
73	\$	577.242.109	\$	14.370.496	\$	10.440.914	\$	3.929.582	\$	573.312.527
74	\$	573.312.527	\$	14.370.496	\$	10.370.825	\$	4.000.838	\$	569.311.868
75	\$	569.311.868	\$	14.370.496	\$	10.297.475	\$	4.073.021	\$	565.238.847
76	\$	565.238.847	\$	14.370.496	\$	10.223.804	\$	4.146.692	\$	561.092.159
77	\$	561.092.155	\$	14.370.496	\$	10.148.801	\$	4.223.690	\$	556.870.460
78	\$	556.870.460	\$	14.370.496	\$	10.072.440	\$	4.298.056	\$	552.572.404
79	\$	552.572.404	\$	14.370.496	\$	9.994.699	\$	4.375.797	\$	548.196.606
80	\$	548.196.606	\$	14.370.496	\$	9.915.525	\$	4.454.945	\$	543.841.661
81	\$	543.741.661	\$	14.370.496	\$	9.834.972	\$	4.535.524	\$	539.206.137
82	\$	539.206.137	\$	14.370.496	\$	9.752.335	\$	4.617.561	\$	534.588.576
83	\$	534.588.576	\$	14.370.496	\$	9.669.415	\$	4.701.081	\$	529.887.494
84	\$	529.887.494	\$	14.370.496	\$	9.584.384	\$	4.786.113	\$	525.101.382
85	\$	525.101.382	\$	14.370.496	\$	9.497.815	\$	4.872.682	\$	520.228.700
86	\$	520.228.700	\$	14.370.496	\$	9.409.680	\$	4.960.817	\$	515.267.883
87	\$	515.267.883	\$	14.370.496	\$	9.319.950	\$	5.050.546	\$	510.217.337
88	\$	510.217.337	\$	14.370.496	\$	9.228.598	\$	5.141.893	\$	505.075.439
89	\$	505.075.439	\$	14.370.496	\$	9.135.594	\$	5.234.903	\$	499.840.536
90	\$	499.840.536	\$	14.370.496	\$	9.040.907	\$	5.329.589	\$	494.510.947
91	\$	494.510.947	\$	14.370.496	\$	8.944.508	\$	5.425.988	\$	489.084.958
92	\$	489.084.958	\$	14.370.496	\$	8.846.365	\$	5.524.132	\$	483.560.826
93	\$	483.560.826	\$	14.370.496	\$	8.746.446	\$	5.624.050	\$	477.936.776
94	\$	477.936.776	\$	14.370.496	\$	8.644.721	\$	5.725.777	\$	472.211.001
95	\$	472.211.001	\$	14.370.496	\$	8.541.155	\$	5.829.341	\$	466.381.660
96	\$	466.381.660	\$	14.370.496	\$	8.435.717	\$	5.934.780	\$	460.446.880
97	\$	460.446.880	\$	14.370.496	\$	8.328.771	\$	6.042.125	\$	454.404.751
98	\$	454.404.754	\$	14.370.496	\$	8.219.083	\$	6.151.413	\$	448.253.342
99	\$	448.253.342	\$	14.370.496	\$	8.107.819	\$	6.262.677	\$	441.990.664
100	\$	441.990.664	\$	14.370.496	\$	7.994.543	\$	6.375.954	\$	435.614.711
101	\$	435.614.711	\$	14.370.496	\$	7.879.217	\$	6.491.279	\$	429.123.431
102	\$	429.123.431	\$	14.370.496	\$	7.761.805	\$	6.608.691	\$	422.514.740
103	\$	422.514.740	\$	14.370.496	\$	7.642.270	\$	6.728.226	\$	415.786.514
104	\$	415.786.514	\$	14.370.496	\$	7.520.573	\$	6.849.924	\$	408.936.591
105	\$	408.936.591	\$	14.370.496	\$	7.396.674	\$	6.973.822	\$	401.962.769
106	\$	401.962.769	\$	14.370.496	\$	7.270.535	\$	7.099.962	\$	394.862.807
107	\$	394.862.807	\$	14.370.496	\$	7.142.114	\$	7.228.383	\$	387.634.424
108	\$	387.634.424	\$	14.370.496	\$	7.011.370	\$	7.359.127	\$	380.275.298
109	\$	380.275.298	\$	14.370.496	\$	6.878.261	\$	7.492.236	\$	372.783.062
110	\$	372.783.062	\$	14.370.496	\$	6.742.744	\$	7.627.752	\$	365.155.310
111	\$	365.155.310	\$	14.370.496	\$	6.604.777	\$	7.765.720	\$	357.389.590
112	\$	357.389.590	\$	14.370.496	\$	6.464.314	\$	7.906.183	\$	349.483.408
113	\$	349.483.408	\$	14.370.496	\$	6.321.310	\$	8.049.186	\$	341.434.221
11										

Anexo 4. Escenario monto máximo viable

Escenario 1				Escenario 4				Escenario 7						
Periodo	Flujo	VP		Periodo	Flujo	VP		Periodo	Flujo	VP				
0	-\$	523.486.698	-\$	523.486.698	0	-\$	366.440.689	-\$	366.440.689	0	-\$	209.394.679	-\$	209.394.679
1	\$	14.370.496	\$	14.115.187	1	\$	10.059.347	\$	9.880.631	1	\$	5.748.199	\$	5.646.075
2	\$	14.370.496	\$	13.864.413	2	\$	10.059.347	\$	9.705.089	2	\$	5.748.199	\$	5.545.765
3	\$	14.370.496	\$	13.618.095	3	\$	10.059.347	\$	9.532.666	3	\$	5.748.199	\$	5.447.238
4	\$	14.370.496	\$	13.376.152	4	\$	10.059.347	\$	9.363.307	4	\$	5.748.199	\$	5.350.461
5	\$	14.370.496	\$	13.138.509	5	\$	10.059.347	\$	9.196.956	5	\$	5.748.199	\$	5.255.403
6	\$	14.370.496	\$	12.905.087	6	\$	10.059.347	\$	9.033.561	6	\$	5.748.199	\$	5.162.035
7	\$	14.370.496	\$	12.675.812	7	\$	10.059.347	\$	8.873.068	7	\$	5.748.199	\$	5.070.325
8	\$	14.370.496	\$	12.450.610	8	\$	10.059.347	\$	8.715.427	8	\$	5.748.199	\$	4.980.244
9	\$	14.370.496	\$	12.229.410	9	\$	10.059.347	\$	8.560.587	9	\$	5.748.199	\$	4.891.764
10	\$	14.370.496	\$	12.012.139	10	\$	10.059.347	\$	8.408.498	10	\$	5.748.199	\$	4.804.856
11	\$	14.370.496	\$	11.798.729	11	\$	10.059.347	\$	8.259.110	11	\$	5.748.199	\$	4.719.492
12	\$	14.370.496	\$	11.589.110	12	\$	10.059.347	\$	8.112.377	12	\$	5.748.199	\$	4.635.644
13	\$	14.370.496	\$	11.383.215	13	\$	10.059.347	\$	7.968.251	13	\$	5.748.199	\$	4.553.286
14	\$	14.370.496	\$	11.180.978	14	\$	10.059.347	\$	7.826.685	14	\$	5.748.199	\$	4.472.391
15	\$	14.370.496	\$	10.982.334	15	\$	10.059.347	\$	7.687.634	15	\$	5.748.199	\$	4.392.934
16	\$	14.370.496	\$	10.787.220	16	\$	10.059.347	\$	7.551.054	16	\$	5.748.199	\$	4.314.888
17	\$	14.370.496	\$	10.595.571	17	\$	10.059.347	\$	7.416.900	17	\$	5.748.199	\$	4.238.229
18	\$	14.370.496	\$	10.407.328	18	\$	10.059.347	\$	7.285.130	18	\$	5.748.199	\$	4.162.931
19	\$	14.370.496	\$	10.222.429	19	\$	10.059.347	\$	7.155.700	19	\$	5.748.199	\$	4.088.972
20	\$	14.370.496	\$	10.040.815	20	\$	10.059.347	\$	7.028.570	20	\$	5.748.199	\$	4.016.326
21	\$	14.370.496	\$	9.862.427	21	\$	10.059.347	\$	6.903.699	21	\$	5.748.199	\$	3.944.971
22	\$	14.370.496	\$	9.687.209	22	\$	10.059.347	\$	6.781.046	22	\$	5.748.199	\$	3.874.884
23	\$	14.370.496	\$	9.515.104	23	\$	10.059.347	\$	6.660.573	23	\$	5.748.199	\$	3.806.042
24	\$	14.370.496	\$	9.346.056	24	\$	10.059.347	\$	6.542.240	24	\$	5.748.199	\$	3.738.423
25	\$	14.370.496	\$	9.180.012	25	\$	10.059.347	\$	6.426.009	25	\$	5.748.199	\$	3.672.005
26	\$	14.370.496	\$	9.016.918	26	\$	10.059.347	\$	6.311.843	26	\$	5.748.199	\$	3.606.767
27	\$	14.370.496	\$	8.856.721	27	\$	10.059.347	\$	6.199.705	27	\$	5.748.199	\$	3.542.689
28	\$	14.370.496	\$	8.699.371	28	\$	10.059.347	\$	6.089.559	28	\$	5.748.199	\$	3.479.748
29	\$	14.370.496	\$	8.544.816	29	\$	10.059.347	\$	5.981.371	29	\$	5.748.199	\$	3.417.926
30	\$	14.370.496	\$	8.393.006	30	\$	10.059.347	\$	5.875.105	30	\$	5.748.199	\$	3.357.203
31	\$	14.370.496	\$	8.243.894	31	\$	10.059.347	\$	5.770.726	31	\$	5.748.199	\$	3.297.558
32	\$	14.370.496	\$	8.097.431	32	\$	10.059.347	\$	5.668.202	32	\$	5.748.199	\$	3.238.973
33	\$	14.370.496	\$	7.953.571	33	\$	10.059.347	\$	5.567.499	33	\$	5.748.199	\$	3.181.428
34	\$	14.370.496	\$	7.812.266	34	\$	10.059.347	\$	5.468.586	34	\$	5.748.199	\$	3.124.906
35	\$	14.370.496	\$	7.673.471	35	\$	10.059.347	\$	5.371.430	35	\$	5.748.199	\$	3.069.388
36	\$	14.370.496	\$	7.537.142	36	\$	10.059.347	\$	5.276.000	36	\$	5.748.199	\$	3.014.857
37	\$	14.370.496	\$	7.403.236	37	\$	10.059.347	\$	5.182.265	37	\$	5.748.199	\$	2.961.294
38	\$	14.370.496	\$	7.271.708	38	\$	10.059.347	\$	5.090.196	38	\$	5.748.199	\$	2.908.683
39	\$	14.370.496	\$	7.142.517	39	\$	10.059.347	\$	4.999.762	39	\$	5.748.199	\$	2.857.007
40	\$	14.370.496	\$	7.015.622	40	\$	10.059.347	\$	4.910.935	40	\$	5.748.199	\$	2.806.249
41	\$	14.370.496	\$	6.890.980	41	\$	10.059.347	\$	4.823.686	41	\$	5.748.199	\$	2.756.392
42	\$	14.370.496	\$	6.768.554	42	\$	10.059.347	\$	4.737.988	42	\$	5.748.199	\$	2.707.421
43	\$	14.370.496	\$	6.648.302	43	\$	10.059.347	\$	4.653.811	43	\$	5.748.199	\$	2.659.321
44	\$	14.370.496	\$	6.530.187	44	\$	10.059.347	\$	4.571.131	44	\$	5.748.199	\$	2.612.075
45	\$	14.370.496	\$	6.414.170	45	\$	10.059.347	\$	4.489.919	45	\$	5.748.199	\$	2.565.668
46	\$	14.370.496	\$	6.300.214	46	\$	10.059.347	\$	4.410.150	46	\$	5.748.199	\$	2.520.086
47	\$	14.370.496	\$	6.188.283	47	\$	10.059.347	\$	4.331.798	47	\$	5.748.199	\$	2.475.313
48	\$	14.370.496	\$	6.078.341	48	\$	10.059.347	\$	4.254.838	48	\$	5.748.199	\$	2.431.336
49	\$	14.370.496	\$	5.970.351	49	\$	10.059.347	\$	4.179.246	49	\$	5.748.199	\$	2.388.141
50	\$	14.370.496	\$	5.864.281	50	\$	10.059.347	\$	4.104.996	50	\$	5.748.199	\$	2.345.712
51	\$	14.370.496	\$	5.760.094	51	\$	10.059.347	\$	4.032.066	51	\$	5.748.199	\$	2.304.038
52	\$	14.370.496	\$	5.657.759	52	\$	10.059.347	\$	3.960.432	52	\$	5.748.199	\$	2.263.104
53	\$	14.370.496	\$	5.557.242	53	\$	10.059.347	\$	3.890.070	53	\$	5.748.199	\$	2.222.897
54	\$	14.370.496	\$	5.458.511	54	\$	10.059.347	\$	3.820.958	54	\$	5.748.199	\$	2.183.404
55	\$	14.370.496	\$	5.361.534	55	\$	10.059.347	\$	3.753.074	55	\$	5.748.199	\$	2.144.614
56	\$	14.370.496	\$	5.266.280	56	\$	10.059.347	\$	3.686.396	56	\$	5.748.199	\$	2.106.512
57	\$	14.370.496	\$	5.172.718	57	\$	10.059.347	\$	3.620.902	57	\$	5.748.199	\$	2.069.087
58	\$	14.370.496	\$	5.080.818	58	\$	10.059.347	\$	3.556.572	58	\$	5.748.199	\$	2.032.327
59	\$	14.370.496	\$	4.990.551	59	\$	10.059.347	\$	3.493.386	59	\$	5.748.199	\$	1.996.220
60	\$	14.370.496	\$	4.901.888	60	\$	10.059.347	\$	3.431.321	60	\$	5.748.199	\$	1.960.755
			-\$	0				-\$	0				\$	0
<b>CO</b>		<b>1,809%</b>					<b>1,81%</b>						<b>1,81%</b>	
<b>VPN</b>		<b>\$ 0</b>					<b>\$ 0</b>						<b>\$ 0</b>	
<b>TIR</b>		<b>1,81%</b>					<b>1,8%</b>						<b>1,8%</b>	

Anexo 5. Plan pagos, amortización escenario propuesto

N per	Saldo inicial	Cuota	Cuota Extra	interes	Abono Capital	Saldo Final
0	\$ 523.486.698	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 523.486.698
1	\$ 523.486.698	\$ 14.370.496		\$ 9.468.609	\$ 4.901.888	\$ 518.584.811
2	\$ 518.584.811	\$ 14.370.496		\$ 9.379.946	\$ 4.990.551	\$ 513.594.260
3	\$ 513.594.260	\$ 14.370.496		\$ 9.289.679	\$ 5.080.818	\$ 508.513.442
4	\$ 508.513.442	\$ 14.370.496		\$ 9.197.779	\$ 5.172.718	\$ 503.340.724
5	\$ 503.340.724	\$ 14.370.496		\$ 9.104.217	\$ 5.266.280	\$ 498.074.445
6	\$ 498.074.445	\$ 14.370.496		\$ 9.008.963	\$ 5.361.534	\$ 492.712.911
7	\$ 492.712.911	\$ 14.370.496		\$ 8.911.985	\$ 5.458.511	\$ 487.254.400
8	\$ 487.254.400	\$ 14.370.496		\$ 8.813.254	\$ 5.557.242	\$ 481.697.158
9	\$ 481.697.158	\$ 14.370.496		\$ 8.712.737	\$ 5.657.759	\$ 476.039.399
10	\$ 476.039.399	\$ 14.370.496		\$ 8.610.402	\$ 5.760.094	\$ 470.279.304
11	\$ 470.279.304	\$ 14.370.496		\$ 8.506.216	\$ 5.864.281	\$ 464.415.024
12	\$ 464.415.024	\$ 14.370.496		\$ 8.400.145	\$ 5.970.351	\$ 458.444.672
13	\$ 458.444.672	\$ 14.370.496		\$ 8.292.156	\$ 6.078.341	\$ 452.366.332
14	\$ 452.366.332	\$ 14.370.496		\$ 8.182.213	\$ 6.188.283	\$ 446.178.049
15	\$ 446.178.049	\$ 14.370.496		\$ 8.070.282	\$ 6.300.214	\$ 439.877.834
16	\$ 439.877.834	\$ 14.370.496		\$ 7.956.327	\$ 6.414.170	\$ 433.463.665
17	\$ 433.463.665	\$ 14.370.496		\$ 7.840.310	\$ 6.530.187	\$ 426.933.478
18	\$ 426.933.478	\$ 14.370.496		\$ 7.722.195	\$ 6.648.302	\$ 420.285.176
19	\$ 420.285.176	\$ 14.370.496		\$ 7.601.943	\$ 6.768.554	\$ 413.516.623
20	\$ 413.516.623	\$ 14.370.496		\$ 7.479.516	\$ 6.890.980	\$ 406.625.642
21	\$ 406.625.642	\$ 14.370.496		\$ 7.354.875	\$ 7.015.622	\$ 399.610.021
22	\$ 399.610.021	\$ 14.370.496		\$ 7.227.979	\$ 7.142.517	\$ 392.467.504
23	\$ 392.467.504	\$ 14.370.496		\$ 7.098.788	\$ 7.271.708	\$ 385.195.796
24	\$ 385.195.796	\$ 14.370.496		\$ 6.967.261	\$ 7.403.236	\$ 377.792.560
25	\$ 377.792.560	\$ 14.370.496		\$ 6.833.354	\$ 7.537.142	\$ 370.255.418
26	\$ 370.255.418	\$ 14.370.496		\$ 6.697.025	\$ 7.673.471	\$ 362.581.947
27	\$ 362.581.947	\$ 14.370.496		\$ 6.558.231	\$ 7.812.266	\$ 354.769.681
28	\$ 354.769.681	\$ 14.370.496		\$ 6.416.926	\$ 7.953.571	\$ 346.816.111
29	\$ 346.816.111	\$ 14.370.496		\$ 6.273.065	\$ 8.097.431	\$ 338.718.679
30	\$ 338.718.679	\$ 14.370.496		\$ 6.126.602	\$ 8.243.894	\$ 330.474.785
31	\$ 330.474.785	\$ 14.370.496		\$ 5.977.490	\$ 8.393.006	\$ 322.081.779
32	\$ 322.081.779	\$ 14.370.496		\$ 5.825.681	\$ 8.544.816	\$ 313.536.963
33	\$ 313.536.963	\$ 14.370.496		\$ 5.671.126	\$ 8.699.371	\$ 304.837.592
34	\$ 304.837.592	\$ 14.370.496		\$ 5.513.775	\$ 8.856.721	\$ 295.980.871
35	\$ 295.980.871	\$ 14.370.496		\$ 5.353.578	\$ 9.016.918	\$ 286.963.953
36	\$ 286.963.953	\$ 14.370.496		\$ 5.190.484	\$ 9.180.012	\$ 277.783.941
37	\$ 277.783.941	\$ 14.370.496		\$ 5.024.440	\$ 9.346.056	\$ 268.437.884
38	\$ 268.437.884	\$ 14.370.496		\$ 4.855.392	\$ 9.515.104	\$ 258.922.780
39	\$ 258.922.780	\$ 14.370.496		\$ 4.683.287	\$ 9.687.209	\$ 249.235.571
40	\$ 249.235.571	\$ 14.370.496		\$ 4.508.069	\$ 9.862.427	\$ 239.373.144
41	\$ 239.373.144	\$ 14.370.496		\$ 4.329.681	\$ 10.040.815	\$ 229.332.329
42	\$ 229.332.329	\$ 14.370.496		\$ 4.148.067	\$ 10.222.429	\$ 219.109.900
43	\$ 219.109.900	\$ 14.370.496		\$ 3.963.168	\$ 10.407.328	\$ 208.702.572
44	\$ 208.702.572	\$ 14.370.496		\$ 3.774.925	\$ 10.595.571	\$ 198.107.000
45	\$ 198.107.000	\$ 14.370.496		\$ 3.583.277	\$ 10.787.220	\$ 187.319.781
46	\$ 187.319.781	\$ 14.370.496		\$ 3.388.162	\$ 10.982.334	\$ 176.337.446
47	\$ 176.337.446	\$ 14.370.496		\$ 3.189.518	\$ 11.180.978	\$ 165.156.468
48	\$ 165.156.468	\$ 14.370.496		\$ 2.987.281	\$ 11.383.215	\$ 153.773.253
49	\$ 153.773.253	\$ 14.370.496		\$ 2.781.386	\$ 11.589.110	\$ 142.184.143
50	\$ 142.184.143	\$ 14.370.496		\$ 2.571.767	\$ 11.798.729	\$ 130.385.414
51	\$ 130.385.414	\$ 14.370.496		\$ 2.358.357	\$ 12.012.139	\$ 118.373.275
52	\$ 118.373.275	\$ 14.370.496		\$ 2.141.086	\$ 12.229.410	\$ 106.143.864
53	\$ 106.143.864	\$ 14.370.496		\$ 1.919.886	\$ 12.450.610	\$ 93.693.254
54	\$ 93.693.254	\$ 14.370.496		\$ 1.694.684	\$ 12.675.812	\$ 81.017.442
55	\$ 81.017.442	\$ 14.370.496		\$ 1.465.410	\$ 12.905.087	\$ 68.112.355
56	\$ 68.112.355	\$ 14.370.496		\$ 1.231.988	\$ 13.138.509	\$ 54.973.847
57	\$ 54.973.847	\$ 14.370.496		\$ 994.344	\$ 13.376.152	\$ 41.597.694
58	\$ 41.597.694	\$ 14.370.496		\$ 752.402	\$ 13.618.095	\$ 27.979.600
59	\$ 27.979.600	\$ 14.370.496		\$ 506.083	\$ 13.864.413	\$ 14.115.187
60	\$ 14.115.187	\$ 14.370.496		\$ 255.310	\$ 14.115.187	\$ 0

Anexo 6. Plan pagos, amortización escenario 7 al 40%

N per	Saldo inicial	Cuota	Cuota Extra	interes	Abono Capital	Saldo Final
0	\$ 209.394.679	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 209.394.679
1	\$ 209.394.679	\$ 5.748.199		\$ 3.787.444	\$ 1.960.755	\$ 207.433.924
2	\$ 207.433.924	\$ 5.748.199		\$ 3.751.978	\$ 1.996.220	\$ 205.437.704
3	\$ 205.437.704	\$ 5.748.199		\$ 3.715.871	\$ 2.032.327	\$ 203.405.377
4	\$ 203.405.377	\$ 5.748.199		\$ 3.679.112	\$ 2.069.087	\$ 201.336.290
5	\$ 201.336.290	\$ 5.748.199		\$ 3.641.687	\$ 2.106.512	\$ 199.229.778
6	\$ 199.229.778	\$ 5.748.199		\$ 3.603.585	\$ 2.144.614	\$ 197.085.164
7	\$ 197.085.164	\$ 5.748.199		\$ 3.564.794	\$ 2.183.404	\$ 194.901.760
8	\$ 194.901.760	\$ 5.748.199		\$ 3.525.302	\$ 2.222.897	\$ 192.678.863
9	\$ 192.678.863	\$ 5.748.199		\$ 3.485.095	\$ 2.263.104	\$ 190.415.759
10	\$ 190.415.759	\$ 5.748.199		\$ 3.444.161	\$ 2.304.038	\$ 188.111.722
11	\$ 188.111.722	\$ 5.748.199		\$ 3.402.486	\$ 2.345.712	\$ 185.766.009
12	\$ 185.766.009	\$ 5.748.199		\$ 3.360.058	\$ 2.388.141	\$ 183.377.869
13	\$ 183.377.869	\$ 5.748.199		\$ 3.316.862	\$ 2.431.336	\$ 180.946.533
14	\$ 180.946.533	\$ 5.748.199		\$ 3.272.885	\$ 2.475.313	\$ 178.471.219
15	\$ 178.471.219	\$ 5.748.199		\$ 3.228.113	\$ 2.520.086	\$ 175.951.134
16	\$ 175.951.134	\$ 5.748.199		\$ 3.182.531	\$ 2.565.668	\$ 173.385.466
17	\$ 173.385.466	\$ 5.748.199		\$ 3.136.124	\$ 2.612.075	\$ 170.773.391
18	\$ 170.773.391	\$ 5.748.199		\$ 3.088.878	\$ 2.659.321	\$ 168.114.070
19	\$ 168.114.070	\$ 5.748.199		\$ 3.040.777	\$ 2.707.421	\$ 165.406.649
20	\$ 165.406.649	\$ 5.748.199		\$ 2.991.806	\$ 2.756.392	\$ 162.650.257
21	\$ 162.650.257	\$ 5.748.199		\$ 2.941.950	\$ 2.806.249	\$ 159.844.008
22	\$ 159.844.008	\$ 5.748.199		\$ 2.891.192	\$ 2.857.007	\$ 156.987.001
23	\$ 156.987.001	\$ 5.748.199		\$ 2.839.515	\$ 2.908.683	\$ 154.078.318
24	\$ 154.078.318	\$ 5.748.199		\$ 2.786.904	\$ 2.961.294	\$ 151.117.024
25	\$ 151.117.024	\$ 5.748.199		\$ 2.733.342	\$ 3.014.857	\$ 148.102.167
26	\$ 148.102.167	\$ 5.748.199		\$ 2.678.810	\$ 3.069.388	\$ 145.032.779
27	\$ 145.032.779	\$ 5.748.199		\$ 2.623.292	\$ 3.124.906	\$ 141.907.872
28	\$ 141.907.872	\$ 5.748.199		\$ 2.566.770	\$ 3.181.428	\$ 138.726.444
29	\$ 138.726.444	\$ 5.748.199		\$ 2.509.226	\$ 3.238.973	\$ 135.487.472
30	\$ 135.487.472	\$ 5.748.199		\$ 2.450.641	\$ 3.297.558	\$ 132.189.914
31	\$ 132.189.914	\$ 5.748.199		\$ 2.390.996	\$ 3.357.203	\$ 128.832.711
32	\$ 128.832.711	\$ 5.748.199		\$ 2.330.272	\$ 3.417.926	\$ 125.414.785
33	\$ 125.414.785	\$ 5.748.199		\$ 2.268.450	\$ 3.479.748	\$ 121.935.037
34	\$ 121.935.037	\$ 5.748.199		\$ 2.205.510	\$ 3.542.689	\$ 118.392.348
35	\$ 118.392.348	\$ 5.748.199		\$ 2.141.431	\$ 3.606.767	\$ 114.785.581
36	\$ 114.785.581	\$ 5.748.199		\$ 2.076.194	\$ 3.672.005	\$ 111.113.576
37	\$ 111.113.576	\$ 5.748.199		\$ 2.009.776	\$ 3.738.423	\$ 107.375.154
38	\$ 107.375.154	\$ 5.748.199		\$ 1.942.157	\$ 3.806.042	\$ 103.569.112
39	\$ 103.569.112	\$ 5.748.199		\$ 1.873.315	\$ 3.874.884	\$ 99.694.228
40	\$ 99.694.228	\$ 5.748.199		\$ 1.803.228	\$ 3.944.971	\$ 95.749.257
41	\$ 95.749.257	\$ 5.748.199		\$ 1.731.873	\$ 4.016.326	\$ 91.732.931
42	\$ 91.732.931	\$ 5.748.199		\$ 1.659.227	\$ 4.088.972	\$ 87.643.960
43	\$ 87.643.960	\$ 5.748.199		\$ 1.585.267	\$ 4.162.931	\$ 83.481.029
44	\$ 83.481.029	\$ 5.748.199		\$ 1.509.970	\$ 4.238.229	\$ 79.242.800
45	\$ 79.242.800	\$ 5.748.199		\$ 1.433.311	\$ 4.314.888	\$ 74.927.912
46	\$ 74.927.912	\$ 5.748.199		\$ 1.355.265	\$ 4.392.934	\$ 70.534.979
47	\$ 70.534.979	\$ 5.748.199		\$ 1.275.807	\$ 4.472.391	\$ 66.062.587
48	\$ 66.062.587	\$ 5.748.199		\$ 1.194.912	\$ 4.553.286	\$ 61.509.301
49	\$ 61.509.301	\$ 5.748.199		\$ 1.112.555	\$ 4.635.644	\$ 56.873.657
50	\$ 56.873.657	\$ 5.748.199		\$ 1.028.707	\$ 4.719.492	\$ 52.154.166
51	\$ 52.154.166	\$ 5.748.199		\$ 943.343	\$ 4.804.856	\$ 47.349.310
52	\$ 47.349.310	\$ 5.748.199		\$ 856.435	\$ 4.891.764	\$ 42.457.546
53	\$ 42.457.546	\$ 5.748.199		\$ 767.954	\$ 4.980.244	\$ 37.477.302
54	\$ 37.477.302	\$ 5.748.199		\$ 677.874	\$ 5.070.325	\$ 32.406.977
55	\$ 32.406.977	\$ 5.748.199		\$ 586.164	\$ 5.162.035	\$ 27.244.942
56	\$ 27.244.942	\$ 5.748.199		\$ 492.795	\$ 5.255.403	\$ 21.989.539
57	\$ 21.989.539	\$ 5.748.199		\$ 397.738	\$ 5.350.461	\$ 16.639.078
58	\$ 16.639.078	\$ 5.748.199		\$ 300.961	\$ 5.447.238	\$ 11.191.840
59	\$ 11.191.840	\$ 5.748.199		\$ 202.433	\$ 5.545.765	\$ 5.646.075
60	\$ 5.646.075	\$ 5.748.199		\$ 102.124	\$ 5.646.075	\$ 0