



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**IMPACTO ECONÓMICO DEL MONTAJE Y OPERACIÓN DE UNA  
CALDERA DE COMBUSTIÓN DE CARBÓN Y BIOMASA PARA  
GENERAR CALOR Y VAPOR EN UNA EMPRESA TEXTIL**

**Francisco Armando Castillo Barrera**  
Asesorado por el Ing. Edwin Josué Ixpatá Reyes

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPACTO ECONÓMICO DEL MONTAJE Y OPERACIÓN DE UNA  
CALDERA DE COMBUSTIÓN DE CARBÓN Y BIOMASA PARA  
GENERAR CALOR Y VAPOR EN UNA EMPRESA TEXTIL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**FRANCISCO ARMANDO CASTILLO BARRERA**  
ASESORADO POR EL ING. EDWIN JOSUÉ IXPATÁ REYES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
  
**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |                                        |
|------------|----------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco     |
| VOCAL I    | Ing. Angel Roberto Sic García          |
| VOCAL II   | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III  | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa    |
| VOCAL IV   | Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova         |
| VOCAL V    | Br. Henry Fernando Duarte García       |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López      |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |                                    |
|------------|------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. Sergio Antonio Torres Méndez  |
| EXAMINADOR | Ing. José Francisco Gómez Rivera   |
| EXAMINADOR | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez    |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López  |

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **IMPACTO ECONÓMICO DEL MONTAJE Y OPERACIÓN DE UNA CALDERA DE COMBUSTIÓN DE CARBÓN Y BIOMASA PARA GENERAR CALOR Y VAPOR EN UNA EMPRESA TEXTIL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 8 de julio de 2014.



**Francisco Amílcar Castillo Barrera**



Guatemala, 18 de junio de 2015

Ingeniero  
Cesar Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Urquizú:

Me complace saludarle, haciendo referencia al trabajo de graduación titulado "IMPACTO ECONÓMICO DEL MONTAJE Y OPERACIÓN DE UNA CALDERA DE COMBUSTIÓN DE CARBÓN Y BIOMASA PARA GENERAR CALOR Y VAPOR EN UNA EMPRESA TEXTIL", desarrollado por el estudiante universitario Francisco Armando Castillo Barrera identificado con el número de carné 201020283, que como asesor apruebo el contenido y desarrollo del mismo.

Para su conocimiento y efectos, sin otro particular me suscribo.

Atentamente  
Edwin Josué Ixpata Reyes  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado 7,128

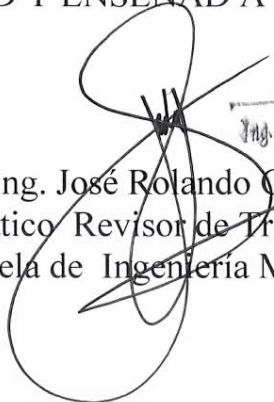
Edwin Josué Ixpata Reyes  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado No. 7128



REF.REV.EMI.124.015

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **IMPACTO ECONÓMICO DEL MONTAJE Y OPERACIÓN DE UNA CALDERA DE COMBUSTIÓN DE CARBÓN Y BIOMASA PARA GENERAR CALOR Y VAPOR EN UNA EMPRESA TEXTIL**, presentado por el estudiante universitario **Francisco Armando Castillo Barrera**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. José Rolando Chávez Salazar  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Ing. José Rolando Chávez Salazar  
Colegiado No. 4.317

Guatemala, septiembre de 2015.

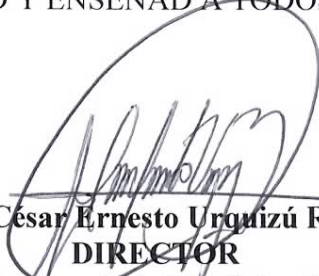
/mgp



REF.DIR.EMI.190.015

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación **IMPACTO ECONÓMICO DEL MONTAJE Y OPERACIÓN DE UNA CALDERA DE COMBUSTIÓN DE CARBÓN Y BIOMASA PARA GENERAR CALOR Y VAPOR EN UNA EMPRESA TEXTIL**, presentado por el estudiante universitario **Francisco Armando Castillo Barrera**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, octubre de 2015.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **IMPACTO ECONÓMICO DEL MONTAJE Y OPERACIÓN DE UNA CALDERA DE COMBUSTIÓN DE CARBÓN Y BIOMASA PARA GENERAR CALOR Y VAPOR EN UNA EMPRESA TEXTIL**, presentado por el estudiante universitario: **Francisco Armando Castillo Barrera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, octubre de 2015



/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por ser mi padre celestial que me dio sabiduría, me bendijo a lo largo de toda mi carrera, me dio fuerza cuando me hizo falta y llenó mi vida con su amor.

### **Mis padres**

José Castillo y Berta Barrera, quienes me han apoyado y dado su cariño durante toda mi vida, y que a lo largo de mi estancia en la Universidad siempre estuvieron allí, animándome.

### **Mis hermanos**

Mayra y Mauricio Castillo Barrera, quienes siempre han estado allí, dándome su cariño incondicional y palabras de aliento.

### **Mi familia**

Por confiar en mí y alentarme a seguir adelante. A todos mis tíos y primos. A mis tías, Lucinda Castillo, Virginia Castillo y Lina Castillo por todo su apoyo.

### **Mis amigos**

Que han sido mis confidentes y me han dado su mano amiga en todo este tiempo. A Elda Calderón, fuente de inspiración, que estuvo allí dándome su apoyo cuando más lo necesite.

**Mi abuela**

Por ser una persona muy especial y querida en mi vida.

**Lázaro Méndez**

Quien me apoyó desde antes de iniciar mi carrera y que fue un impulso para lograr este objetivo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

|                                               |                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dios</b>                                   | Por todas las bendiciones dadas y porque sin Él nada soy.                                                                                                                                                   |
| <b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b> | Mi hogar por cinco años, donde me he podido desarrollar en el ámbito académico.                                                                                                                             |
| <b>Facultad de Ingeniería</b>                 | Por la oportunidad de estudiar día con día, en búsqueda de un mejor mañana.                                                                                                                                 |
| <b>Mis catedráticos</b>                       | Por sus inmensurables conocimientos que fueron transmitidos en cada clase, en cada curso.                                                                                                                   |
| <b>Amigos de la Facultad</b>                  | Compañeros de aulas que siguen siendo un valioso tesoro. A Julio Guevara, Marvin Sicá, Armando Culajay, Andrea Montejo, Elda Calderón, Braulio Pivaral y a cada uno de los amigos con quien compartí tanto. |
| <b>Mi asesor</b>                              | Ing. Edwin Ixpata, por su grandioso apoyo en la realización de este trabajo.                                                                                                                                |
| <b>Mi revisor</b>                             | Ing. Rolando Chávez, por el importante aporte técnico que le dio a mi trabajo de graduación.                                                                                                                |

**Textiles del Sur  
Internacional, S. A.**

Por darme la oportunidad de desempeñarme profesionalmente. A los Ings. Omar Cruz y Hugo Sosa por su apoyo y experiencia compartida.

**Mis amigos y  
compañeros de trabajo**

Que han sido una importante parte de mi formación académica y profesional, también por su apoyo y amistad sincera. A César Tevelan, Carlos Santizo, Luis Soloman, Vinicio Mérida, Julio Tevelan y a cada uno de los compañeros con los que he laborado.



## ÍNDICE GENERAL

|                                           |       |
|-------------------------------------------|-------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....              | VII   |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....                   | XV    |
| GLOSARIO .....                            | XVII  |
| RESUMEN.....                              | XIX   |
| OBJETIVOS.....                            | XXI   |
| Hipótesis .....                           | XXII  |
| INTRODUCCIÓN .....                        | XXIII |
| <br>                                      |       |
| 1.    GENENERALIDADES DE LA EMPRESA ..... | 1     |
| 1.1.    Historia .....                    | 1     |
| 1.2.    Ubicación.....                    | 1     |
| 1.3.    Visión.....                       | 2     |
| 1.4.    Misión .....                      | 2     |
| 1.5.    Valores .....                     | 3     |
| 1.6.    Productos .....                   | 3     |
| 1.7.    Procesos de producción .....      | 4     |
| 1.7.1.    Hilatura de algodón.....        | 4     |
| 1.7.2.    Urdido .....                    | 10    |
| 1.7.2.1.    Urdido sintético .....        | 10    |
| 1.7.2.2.    Urdido de algodón .....       | 11    |
| 1.7.3.    Engomado .....                  | 12    |
| 1.7.4.    Tejeduría.....                  | 12    |
| 1.7.4.1.    Tejeduría rectilínea .....    | 13    |
| 1.7.4.2.    Tejeduría plana.....          | 14    |
| 1.7.4.3.    Tejeduría circular .....      | 15    |

|          |                                         |    |
|----------|-----------------------------------------|----|
| 1.7.5.   | Tintorería.....                         | 16 |
| 1.7.5.1. | Tintorería continua .....               | 16 |
| 1.7.5.2. | Tintorería cerrada.....                 | 18 |
| 1.7.6.   | Acabados .....                          | 20 |
| 1.7.7.   | Estampado .....                         | 21 |
| 1.7.8.   | Laboratorios .....                      | 22 |
| 1.7.9.   | Revisión.....                           | 22 |
| 1.8.     | Departamentos y divisiones .....        | 24 |
| 1.9.     | Equipos auxiliares .....                | 25 |
| 1.9.1.   | Compresores.....                        | 25 |
| 1.9.2.   | Suministro de vapor .....               | 27 |
| 1.9.3.   | Calderas de fluido térmico.....         | 28 |
| 1.9.4.   | Suavizadores de agua.....               | 29 |
| 1.9.5.   | <i>Chillers</i> .....                   | 30 |
| 1.9.6.   | Aire acondicionado y climatización..... | 31 |
| 2.       | SITUACIÓN ACTUAL .....                  | 33 |
| 2.1.     | Calderas de fluido térmico.....         | 33 |
| 2.1.1.   | Operación y funcionamiento.....         | 33 |
| 2.1.2.   | Equipo y elementos de caldera .....     | 34 |
| 2.1.3.   | Máquinas dependientes .....             | 35 |
| 2.1.4.   | Red de tubería térmica.....             | 35 |
| 2.2.     | Costo de operación .....                | 36 |
| 2.2.1.   | Mano de obra .....                      | 36 |
| 2.2.2.   | Electricidad.....                       | 38 |
| 2.2.3.   | Combustible .....                       | 40 |
| 2.2.4.   | Costo de operación mensual.....         | 40 |
| 2.3.     | Plan de mantenimiento.....              | 41 |
| 2.4.     | Diagrama de equipos .....               | 43 |

|         |                                             |     |
|---------|---------------------------------------------|-----|
| 3.      | PROPUESTA Y MONTAJE.....                    | 45  |
| 3.1.    | Lluvia de ideas.....                        | 45  |
| 3.2.    | Selección de mejor opción.....              | 49  |
| 3.3.    | Proveedor .....                             | 49  |
| 3.4.    | Cotización y orden de compra .....          | 49  |
| 3.5.    | Análisis costo-beneficio .....              | 51  |
| 3.6.    | Premontaje .....                            | 52  |
| 3.7.    | Arribo y ubicación de partes .....          | 53  |
| 3.8.    | Materiales y equipo utilizados.....         | 57  |
| 3.8.1.  | Soldadura y ferretería .....                | 57  |
| 3.8.2.  | Acometida eléctrica .....                   | 66  |
| 3.8.3.  | Fijaciones.....                             | 71  |
| 3.8.4.  | Tubería de aceite térmico .....             | 73  |
| 3.8.5.  | Tubería de agua .....                       | 80  |
| 3.8.6.  | Tubería de vapor .....                      | 81  |
| 3.8.7.  | Tornillería.....                            | 82  |
| 3.8.8.  | Cemento refractario .....                   | 86  |
| 3.9.    | Montaje de tubería.....                     | 87  |
| 3.10.   | Acometida eléctrica .....                   | 91  |
| 3.11.   | Fabricación de ductos.....                  | 103 |
| 3.12.   | Descripción de equipo .....                 | 103 |
| 3.12.1. | Horno .....                                 | 104 |
| 3.12.2. | Intercambiador de calor .....               | 105 |
| 3.12.3. | Generador de vapor.....                     | 106 |
| 3.12.4. | Separador ciclónico de humos y ceniza ..... | 107 |
| 3.12.5. | Precalentador .....                         | 108 |
| 3.12.6. | Extractor de residuos.....                  | 108 |
| 3.12.7. | Motores.....                                | 109 |
| 3.12.8. | Válvulas de seguridad .....                 | 115 |

|            |                                         |     |
|------------|-----------------------------------------|-----|
| 3.12.9.    | Filtro de impurezas .....               | 116 |
| 3.12.10.   | Distribución de tanques .....           | 116 |
| 3.12.11.   | Instrumentación .....                   | 118 |
| 3.12.11.1. | Manómetros .....                        | 119 |
| 3.12.11.2. | Termocoplas y termómetros .....         | 120 |
| 3.12.11.3. | Medidor de vacío (vacuómetro) .....     | 121 |
| 3.12.11.4. | Datos de los instrumentos .....         | 121 |
| 3.12.12.   | Bombas de aceite térmico .....          | 123 |
| 3.12.13.   | Bombas de agua .....                    | 124 |
| 3.12.14.   | Chimenea .....                          | 124 |
| 3.12.15.   | Red de tubería térmica y de agua .....  | 125 |
| 3.12.16.   | Suavizador de agua .....                | 125 |
| 3.13.      | Diagrama de equipos .....               | 126 |
| 3.14.      | Repuestos de remplazo .....             | 129 |
| 3.14.1.    | Fajas .....                             | 129 |
| 3.14.2.    | Cadenas .....                           | 129 |
| 3.14.3.    | Poleas .....                            | 130 |
| 4.         | IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN .....        | 131 |
| 4.1.       | Operación .....                         | 131 |
| 4.1.1.     | Procedimiento de operación .....        | 131 |
| 4.1.2.     | Periodo de prueba y arranque .....      | 134 |
| 4.1.2.1.   | Prueba de fugas .....                   | 134 |
| 4.1.2.2.   | Aplicación de cemento refractario ..... | 134 |
| 4.1.2.3.   | Aceite térmico .....                    | 135 |
| 4.1.3.     | Combustibles .....                      | 135 |
| 4.1.3.1.   | Carbón mineral .....                    | 136 |
| 4.1.3.2.   | Madera .....                            | 137 |
| 4.1.3.3.   | Raquis de palma africana .....          | 139 |

|          |                                                     |     |
|----------|-----------------------------------------------------|-----|
| 4.1.3.4. | Algodón .....                                       | 141 |
| 4.1.3.5. | Otros combustibles .....                            | 142 |
| 4.1.4.   | Consumo de combustible .....                        | 142 |
| 4.1.4.1. | Modelación de inventario de combustible.....        | 143 |
| 4.1.5.   | Análisis energético de combustibles.....            | 146 |
| 4.1.6.   | Ensayos de humedad en combustibles .....            | 146 |
| 4.1.7.   | Seguridad industrial .....                          | 148 |
| 4.1.8.   | Aislamiento térmico .....                           | 149 |
| 4.2.     | Plan de mantenimiento .....                         | 150 |
| 4.3.     | Gantt de proyecto .....                             | 151 |
| 4.4.     | Análisis económico financiero (costos).....         | 153 |
| 4.4.1.   | Partes de máquina y servicios subcontratados.....   | 153 |
| 4.4.2.   | Mano de obra.....                                   | 153 |
| 4.4.3.   | Materiales y suministros .....                      | 154 |
| 4.4.4.   | Costo de montaje.....                               | 154 |
| 4.5.     | Costos de operación: carbón-biomasa vs. bunker..... | 155 |
| 4.6.     | Rentabilidad del proyecto .....                     | 162 |
| 4.7.     | Verificación de hipótesis .....                     | 166 |
| 5.       | MEJORA CONTINUA.....                                | 167 |
| 5.1.     | Recomendaciones para mejorar.....                   | 167 |
| 5.2.     | Evaluaciones .....                                  | 167 |
| 5.3.     | Estándares .....                                    | 168 |
| 5.4.     | Indicadores .....                                   | 169 |
| 5.5.     | Termografía.....                                    | 179 |

|                       |                                               |     |
|-----------------------|-----------------------------------------------|-----|
| 6.                    | MEDIO AMBIENTE .....                          | 185 |
| 6.1.                  | Emisiones de partículas .....                 | 185 |
| 6.2.                  | Función del limpiador de humos o ceniza ..... | 186 |
| 6.2.1.                | Piscina recolectora de ceniza fina .....      | 186 |
| 6.2.2.                | Sistema de llenado.....                       | 187 |
| 6.2.3.                | Separador ciclónico de ceniza.....            | 187 |
| CONCLUSIONES.....     |                                               | 189 |
| RECOMENDACIONES ..... |                                               | 193 |
| BIBLIOGRAFÍA.....     |                                               | 195 |
| APÉNDICES.....        |                                               | 197 |
| ANEXOS.....           |                                               | 199 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|     |                                                                |    |
|-----|----------------------------------------------------------------|----|
| 1.  | Imagen satelital de Textiles del Sur Internacional, S. A. .... | 2  |
| 2.  | Máquina de apertura o abridora .....                           | 4  |
| 3.  | Salida de carda .....                                          | 5  |
| 4.  | Máquina manual .....                                           | 6  |
| 5.  | Vista lateral de máquina mechera .....                         | 6  |
| 6.  | Vista lateral de una máquina continua de hilar.....            | 7  |
| 7.  | Continua de hilar de hilo <i>open-end</i> .....                | 8  |
| 8.  | Máquina de enconado del hilo de anillos .....                  | 8  |
| 9.  | Diagrama de flujo de producción hilo de anillos .....          | 9  |
| 10. | Diagrama de flujo de producción de hilo <i>open-end</i> .....  | 9  |
| 11. | Urdidora de hilo sintético .....                               | 11 |
| 12. | Urdidora de hilo de algodón .....                              | 11 |
| 13. | Engomadora de hilo de algodón .....                            | 12 |
| 14. | Máquina de tejer rectilínea .....                              | 13 |
| 15. | Máquina de tejer plana.....                                    | 14 |
| 16. | Máquina de tejer circular .....                                | 15 |
| 17. | Lavadora y blanqueadora continua .....                         | 17 |
| 18. | <i>Pad batch</i> de tintura continua.....                      | 18 |
| 19. | Máquina de tintura cerrada .....                               | 19 |
| 20. | Máquina de acabados (rama) .....                               | 20 |
| 21. | Estampadora de tela .....                                      | 21 |
| 22. | Revisadora de tela terminada .....                             | 23 |
| 23. | Compresor de aire.....                                         | 26 |

|     |                                                                   |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------|----|
| 24. | <i>Manifould</i> de distribución de vapor .....                   | 27 |
| 25. | Caldera de combustión por bunker .....                            | 28 |
| 26. | Suavizadores de agua .....                                        | 29 |
| 27. | <i>Chillers</i> de agua fría.....                                 | 30 |
| 28. | Sistema de refrigeración para máquinas de tejer rectilíneas ..... | 31 |
| 29. | Cálculo de mano de obra.....                                      | 37 |
| 30. | Diagrama de sistema de aceite térmico .....                       | 44 |
| 31. | Histórico del precio promedio del galón de bunker (Q) .....       | 45 |
| 32. | Alternativas de inversión .....                                   | 48 |
| 33. | Base de motor de turbina de chimenea .....                        | 52 |
| 34. | Descarga del primer embarque .....                                | 53 |
| 35. | Partes de caldera del primer embarque .....                       | 54 |
| 36. | Descarga del segundo embarque .....                               | 54 |
| 37. | Ubicación del horno e intercambiador de calor .....               | 55 |
| 38. | Ubicación del separador ciclónico de ceniza .....                 | 55 |
| 39. | Cronograma de arribo y ubicación de partes .....                  | 56 |
| 40. | Electrodo revestido .....                                         | 57 |
| 41. | Esquema del electrodo revestido.....                              | 58 |
| 42. | Nomenclatura de electrodos .....                                  | 59 |
| 43. | Equipo de protección para soldar .....                            | 61 |
| 44. | Equipo de soldadura oxiacetilénica y oxi-corte .....              | 63 |
| 45. | Discos abrasivos.....                                             | 63 |
| 46. | Set de terrajas.....                                              | 64 |
| 47. | Rollo de teflón.....                                              | 65 |
| 48. | Pomo de silicón rojo.....                                         | 65 |
| 49. | Cable eléctrico .....                                             | 66 |
| 50. | Variador de frecuencia.....                                       | 70 |
| 51. | Perno de fijación o anclaje .....                                 | 71 |
| 52. | Ejemplos de pernos de anclaje .....                               | 73 |



|     |                                                            |     |
|-----|------------------------------------------------------------|-----|
| 53. | Válvulas de compuerta.....                                 | 75  |
| 54. | Codos y bridas empleados.....                              | 75  |
| 55. | Reducidores en tubería.....                                | 76  |
| 56. | Antes del montaje de la caldera de carbón .....            | 78  |
| 57. | Después del montaje de la caldera de carbón .....          | 79  |
| 58. | Tipos de cabeza de tornillo .....                          | 83  |
| 59. | Esquema de ruta de aceite térmico.....                     | 87  |
| 60. | Tubos usados en red de aceite térmico .....                | 88  |
| 61. | Primer segmento ensamblado de tubería aceite térmico ..... | 88  |
| 62. | Soldadura de tubería.....                                  | 89  |
| 63. | Conexión de motores trifásicos .....                       | 94  |
| 64. | Esquema de acometida eléctrica .....                       | 96  |
| 65. | Diagrama eléctrico 1/6 .....                               | 97  |
| 66. | Diagrama eléctrico 2/6 .....                               | 98  |
| 67. | Diagrama eléctrico 3/6 .....                               | 99  |
| 68. | Diagrama eléctrico 4/6 .....                               | 100 |
| 69. | Diagrama eléctrico 5/6 .....                               | 101 |
| 70. | Diagrama eléctrico 6/6 .....                               | 102 |
| 71. | Fabricación de ductos .....                                | 103 |
| 72. | Triángulo del fuego.....                                   | 104 |
| 73. | Escotilla del horno .....                                  | 105 |
| 74. | Intercambiador de calor.....                               | 106 |
| 75. | Generador de vapor .....                                   | 107 |
| 76. | Separador ciclónico de ceniza .....                        | 107 |
| 77. | Extractor de residuos .....                                | 108 |
| 78. | Motor de bomba de circulación .....                        | 110 |
| 79. | Motor de bomba de agua .....                               | 111 |
| 80. | Motor soplador .....                                       | 111 |
| 81. | Motor de turbina de chimenea.....                          | 112 |

|      |                                                       |     |
|------|-------------------------------------------------------|-----|
| 82.  | Motorreductor de banda transportadora .....           | 114 |
| 83.  | Motorreductor de elevador de tolva .....              | 115 |
| 84.  | Válvula de seguridad de generador de vapor .....      | 115 |
| 85.  | Filtro de impurezas .....                             | 116 |
| 86.  | Tanque de expansión .....                             | 117 |
| 87.  | Tanque de almacenamiento .....                        | 117 |
| 88.  | Tanque de agua de generador de vapor.....             | 118 |
| 89.  | Manómetro de la bomba de aceite térmico.....          | 119 |
| 90.  | Manómetro del generador de vapor.....                 | 120 |
| 91.  | Termómetro y termocopla.....                          | 120 |
| 92.  | Bomba de aceite térmico .....                         | 123 |
| 93.  | Bombas de agua.....                                   | 124 |
| 94.  | Chimenea .....                                        | 125 |
| 95.  | Diagrama general de caldera.....                      | 126 |
| 96.  | Diagrama del sistema de refrigeración de turbina..... | 126 |
| 97.  | Diagrama de agua y vapor.....                         | 127 |
| 98.  | Diagrama del extractor de cenizas.....                | 127 |
| 99.  | Diagrama de aceite térmico .....                      | 128 |
| 100. | Carretilla de carbón mineral.....                     | 137 |
| 101. | Carretilla de madera peletizada .....                 | 138 |
| 102. | Peletizadora de madera.....                           | 139 |
| 103. | Raquis de palma africana .....                        | 140 |
| 104. | Gráfica del modelo de inventario .....                | 145 |
| 105. | Humedad en raquis de palma africana .....             | 147 |
| 106. | Tubería con aislante térmico.....                     | 150 |
| 107. | Diagrama de Gantt del proyecto .....                  | 152 |
| 108. | Indicador 1 .....                                     | 170 |
| 109. | Indicador 2 .....                                     | 171 |
| 110. | Indicador 3 .....                                     | 172 |

|      |                                                    |     |
|------|----------------------------------------------------|-----|
| 111. | Indicador 4 .....                                  | 173 |
| 112. | Indicador 5 .....                                  | 174 |
| 113. | Indicador 6 .....                                  | 175 |
| 114. | Indicador 7 .....                                  | 177 |
| 115. | Indicador 8 .....                                  | 177 |
| 116. | Indicador 9 .....                                  | 178 |
| 117. | Indicador 10 .....                                 | 178 |
| 118. | Termografía a la trampa de vapor .....             | 179 |
| 119. | Termografía al motor de turbina .....              | 180 |
| 120. | Termografía a motor soplador <i>blower</i> .....   | 181 |
| 121. | Termografía al motor de banda transportadora ..... | 181 |
| 122. | Termografía al horno de la caldera (antes) .....   | 182 |
| 123. | Termografía al horno de la caldera (después) ..... | 182 |
| 124. | Pileta de retención de ceniza .....                | 186 |
| 125. | Separador ciclónico cilíndrico .....               | 188 |
| 126. | Interior del separador ciclónico de ceniza .....   | 188 |

## TABLAS

|       |                                                         |    |
|-------|---------------------------------------------------------|----|
| I.    | Telas más producidas .....                              | 3  |
| II.   | Telas producidas en máquinas de tejer rectilíneas ..... | 13 |
| III.  | Telas producidas en máquinas de tejido plano .....      | 14 |
| IV.   | Telas producidas en máquinas de tejido circular .....   | 15 |
| V.    | Telas procesadas en tintorería continua .....           | 18 |
| VI.   | Telas procesadas en tintorería cerrada .....            | 19 |
| VII.  | Fallas comunes en telas, por departamento .....         | 23 |
| VIII. | Calidad de telas en función de fallas .....             | 23 |
| IX.   | Departamentos y divisiones de la empresa .....          | 24 |
| X.    | Departamentos que utilizan aire comprimido .....        | 26 |

|          |                                                     |    |
|----------|-----------------------------------------------------|----|
| XI.      | Cantidad y tipo de compresores .....                | 26 |
| XII.     | Departamentos que emplean vapor en procesos .....   | 27 |
| XIII.    | Departamentos que utilizan agua suave .....         | 30 |
| XIV.     | Máquinas dependientes de la caldera de térmica..... | 35 |
| XV.      | Red de circuitos auxiliares .....                   | 36 |
| XVI.     | Equipos eléctricos de caldera de bunker .....       | 39 |
| XVII.    | Kilowatt-hora consumidos en un mes .....            | 39 |
| XVIII.   | Costo de energía eléctrica .....                    | 40 |
| XIX.     | Costo de operación mensual con bunker .....         | 40 |
| XX.      | Plan de mantenimiento cada dos semanas .....        | 41 |
| XXI.     | Plan de mantenimiento mensual.....                  | 42 |
| XXII.    | Plan de mantenimiento bimestral.....                | 42 |
| XXIII.   | Plan de mantenimiento semestral.....                | 43 |
| XXIV.    | Alternativas y porcentaje de aceptación .....       | 46 |
| XXV.     | Diagrama de afinidad.....                           | 47 |
| XXVI.    | Matriz de costo de mejora.....                      | 48 |
| XXVII.   | Partes de caldera (primer embarque) .....           | 50 |
| XXVIII.  | Partes de caldera (segundo embarque).....           | 51 |
| XXIX.    | Cable utilizado en montaje.....                     | 67 |
| XXX.     | Conducto HG utilizado .....                         | 68 |
| XXXI.    | Conducto PVC utilizado .....                        | 68 |
| XXXII.   | Variadores de frecuencia instalados .....           | 70 |
| XXXIII.  | Pernos de fijación empleados en el montaje .....    | 72 |
| XXXIV.   | Tubería de aceite térmico .....                     | 74 |
| XXXV.    | Válvulas de compuerta .....                         | 74 |
| XXXVI.   | Reducidores usados en tubería aceite térmico .....  | 76 |
| XXXVII.  | Otros elementos de tubería de aceite térmico .....  | 77 |
| XXXVIII. | Elementos de instalación de tubería de agua .....   | 80 |
| XXXIX.   | Elementos de instalación de tubería de vapor .....  | 81 |

|         |                                                               |     |
|---------|---------------------------------------------------------------|-----|
| XL.     | Símbolos de roscas.....                                       | 85  |
| XLI.    | Tornillería utilizada en montaje .....                        | 86  |
| XLII.   | Cronología de fase de montaje de tubería aceite térmico ..... | 90  |
| XLIII.  | Calibre de cable y amperaje.....                              | 92  |
| XLIV.   | Tipo de conexión de motores .....                             | 94  |
| XLV.    | Cronología de la fase de acometida eléctrica .....            | 95  |
| XLVI.   | Datos de los motores de bombas de circulación 1 y 2 .....     | 109 |
| XLVII.  | Datos del motor de la bomba de circulación 3 .....            | 109 |
| XLVIII. | Motores de las bombas de agua .....                           | 110 |
| XLIX.   | Motor soplador <i>blower</i> .....                            | 111 |
| L.      | Datos del motor de turbina de chimenea.....                   | 112 |
| LI.     | Datos del motorreductor de extractor de ceniza.....           | 113 |
| LII.    | Motorreductor del extractor de ceniza.....                    | 113 |
| LIII.   | Datos del motorreductor de banda transportadora.....          | 113 |
| LIV.    | Datos de motorreductor elevador de tolva .....                | 114 |
| LV.     | Procedimiento de arranque .....                               | 131 |
| LVI.    | Procedimiento de paro .....                                   | 133 |
| LVII.   | Fluido térmico comprado.....                                  | 135 |
| LVIII.  | Carbón .....                                                  | 137 |
| LIX.    | Madera peletizada.....                                        | 139 |
| LX.     | Raquis de palma africana.....                                 | 141 |
| LXI.    | Algodón .....                                                 | 142 |
| LXII.   | Datos de otros materiales .....                               | 142 |
| LXIII.  | Matriz de energética de combustibles .....                    | 146 |
| LXIV.   | Resultado del ensayo de humedad en raquis .....               | 147 |
| LXV.    | Resultado del ensayo de humedad en madera.....                | 148 |
| LXVI.   | Plan de mantenimiento.....                                    | 150 |
| LXVII.  | Costo de partes y servicios .....                             | 153 |
| LXVIII. | Costo de materiales y suministros .....                       | 154 |

|          |                                                  |     |
|----------|--------------------------------------------------|-----|
| LXIX.    | Costo de montaje de caldera .....                | 154 |
| LXX.     | Costo de energía caldera de carbón-biomasa ..... | 156 |
| LXXI.    | Costo de mantenimiento .....                     | 156 |
| LXXII.   | Consumo de energía térmica por máquina .....     | 158 |
| LXXIII.  | Energía demanda según horas-máquina .....        | 159 |
| LXXIV.   | Costo de energía caldera de bunker .....         | 160 |
| LXXV.    | Resumen de costos de operación por día .....     | 161 |
| LXXVI.   | Flujo de caja de proyecto .....                  | 163 |
| LXXVII.  | Tiempo de repago .....                           | 165 |
| LXXVIII. | Estándares .....                                 | 168 |
| LXXIX.   | Indicador 1 .....                                | 170 |
| LXXX.    | Indicador 2 .....                                | 171 |
| LXXXI.   | Indicador 3 .....                                | 172 |
| LXXXII.  | Indicador 4 .....                                | 173 |
| LXXXIII. | Indicador 5 .....                                | 174 |
| LXXXIV.  | Indicador 6 .....                                | 175 |
| LXXXV.   | Condiciones de operación .....                   | 176 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado                                                 |
|---------|-------------------------------------------------------------|
| A       | Amperio                                                     |
| CA      | Corriente alterna                                           |
| CC      | Corriente continúa                                          |
| dB      | Decibel                                                     |
| gal     | Galón                                                       |
| °C      | Grados Celsius                                              |
| °F      | Grados Fahrenheit                                           |
| Hz      | Hertz                                                       |
| HP      | <i>Horse power</i> (caballos de fuerza)                     |
| kcal    | Kilocaloría                                                 |
| kg      | Kilogramo                                                   |
| kPa     | Kilopascal                                                  |
| kW      | Kilowatt                                                    |
| kWh     | Kilowatt-hora                                               |
| m       | Metro                                                       |
| mm      | Milímetro                                                   |
| min     | Minuto                                                      |
| psi     | <i>Pounds per square inch</i> (libras por pulgada cuadrada) |
| r/min   | Revoluciones por minuto                                     |
| TmV     | Tonelada métrica de vapor                                   |
| V       | Voltio                                                      |
| yd      | Yarda                                                       |





## **GLOSARIO**

|                            |                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Acometida eléctrica</b> | Se llama acometida en las instalaciones eléctricas a la derivación desde la red de distribución de la empresa suministradora hacia la edificación, propiedad o máquina donde se hará uso de la energía eléctrica. |
| <b>Combustible</b>         | Es cualquier material capaz de liberar energía cuando se oxida de forma violenta con desprendimiento de calor.                                                                                                    |
| <b>Costo</b>               | Es el valor monetario de los consumos de factores que supone el ejercicio de una actividad económica destinada a la producción de un bien, servicio o actividad.                                                  |
| <b>Emisiones</b>           | Fluidos gaseosos, puros o con sustancias en suspensión; así como toda forma de energía radioactiva, electromagnética o sonora, que emanen como residuos o productos de la actividad humana o natural.             |
| <b>HG</b>                  | Hierro galvanizado.                                                                                                                                                                                               |
| <b>HN</b>                  | Hierro negro.                                                                                                                                                                                                     |

|                         |                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Industria textil</b> | Sector industrial de la economía dedicado a la producción de fibras -fibra natural y sintética-, hilados, telas, y productos relacionados con la confección de ropa y vestidos. |
| <b>Instrumentación</b>  | Grupo de elementos que sirven para medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en este.         |
| <b>Inventario</b>       | Relación detallada de bienes o pertenencias.                                                                                                                                    |
| <b>Mantenimiento</b>    | Conjunto de acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo.                                                                                               |
| <b>Montaje</b>          | Combinación de las diferentes piezas de un artefacto o instalación que conforman un todo.                                                                                       |
| <b>Procedimiento</b>    | Método o sistema estructurado para ejecutar algunas cosas.                                                                                                                      |
| <b>Proceso</b>          | Conjunto de operaciones a que se somete una cosa para elaborarla o transformarla.                                                                                               |
| <b>Rentabilidad</b>     | Aspecto económico que dice si un proyecto es conveniente financieramente para la puesta en marcha del mismo.                                                                    |

## **RESUMEN**

El enfoque de la investigación se centra en el montaje de una caldera de carbón-biomasa que pretende mejorar significativamente los costos de operación y generar beneficios a la empresa. De manera que la inversión en el montaje de la caldera y su posterior operación mejoren los costos operativos.

Se hace un seguimiento exhaustivo de los pasos necesarios para armar y poner a punto la máquina, permitiendo conocer a detalle cada uno de los elementos que dan forma a la misma.

El montaje de la caldera genera un impacto positivo en cuanto a costos se refiere, logrando disminuir considerablemente los mismos. La determinación de los materiales más eficientes utilizados en la caldera se logra a través de los estudios empíricos en la etapa de operación.

Las calderas de combustión de biomasa-carbón tienen un alto grado de autonomía y, en términos generales, es una de las opciones más adecuadas para sustituir las calderas de bunker o diésel.

Algunos de los aspectos sobresalientes con los que cuenta la caldera instalada es el sistema de limpieza de humos, que la convierte en una máquina que genera poca contaminación, y la oportunidad de aprovechar la temperatura de los gases de combustión para generar vapor.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar el impacto económico del montaje de una caldera de combustión de carbón-biomasa de generación de temperatura y vapor.

### **Específicos**

1. Describir, de manera secuencial, las etapas y procesos de la industria de manufactura textil.
2. Realizar un diagnóstico de la situación actual de la generación de temperatura a través del uso de calderas de combustión de bunker.
3. Documentar detalladamente las etapas del montaje de la caldera, iniciando con el montaje de tubería, pasando por el montaje eléctrico, hasta su puesta en marcha.
4. Evaluar el proyecto utilizando herramientas de ingeniería económica que generen información importante para la Gerencia.
5. Desarrollar las pautas de mantenimiento que deben seguirse para la operación correcta de la caldera en beneficio del incremento de su vida útil.

6. Analizar los combustibles con los que la caldera puede trabajar y determinar el o los más eficientes.
7. Identificar las oportunidades de mejora continua que el proyecto puede adoptar como medidas a implementar en el corto y mediano plazo.
8. Crear un procedimiento de operación y arranque para la manipulación correcta de la caldera, incluyendo tiempos estándares por tarea.
9. Diseñar el diagrama de tubería térmica, el de tubería de agua, el de equipos de la máquina, empleando un software de diseño asistido.

## **Hipótesis**

Utilizando la caldera de carbón y biomasa la rentabilidad de producir temperatura y vapor para los procesos productivos aumenta en un 60 % con respecto a las calderas de bunker.

## INTRODUCCIÓN

Los procesos termodinámicos que una industria textil necesita son, por lo general, la generación de vapor y la transferencia de calor. El vapor puede ser utilizado en un sinnúmero de aplicaciones, que van desde la generación de electricidad hasta el calentamiento de máquinas. Por su parte, la temperatura, a través de la transferencia de calor en una industria textil, proporciona la energía térmica necesaria para los más diversos procesos de producción que pueden ir desde el secado o acabado de tela, hasta el estampado de las mismas.

Las máquinas encargadas de producir el vapor y la temperatura son denominadas calderas. Son máquinas térmicas que elevan la temperatura del fluido haciéndolo potencialmente energético y capaz de realizar un trabajo.

La empresa ha empleado calderas de combustión por bunker para generar temperatura, pero como el costo del bunker ha ido en ascenso, surge la idea de invertir en la instalación y montaje de una nueva caldera que tenga un costo de operación menor. El cuerpo del trabajo gira entorno a esto, el montaje de la máquina y posterior puesta en marcha.

En el primer capítulo del trabajo se desarrollan las generalidades de la empresa, se describe ampliamente la actividad textil en el proceso de manufactura. Cada elemento y cada etapa serán ilustrados, iniciando con la hilandería, pasando a la tejeduría. Luego, seguirá la etapa de tintura, para después iniciar con el proceso de secado y acabado, por último, la revisión.

Seguidamente, el segundo capítulo presenta la situación de la empresa trabajando con la caldera de bunker, con la cual se genera un costo total de operación que posteriormente se comparará con el derivado de la nueva caldera.

El estudio de factibilidad, la cotización, el proceso de compra, hasta los trabajos previos a la instalación y montaje (cimentaciones, acondicionamiento del salón de calderas, drenajes y modificaciones) son parte del tercer capítulo. Posteriormente, en el mismo, se va a detallar el arribo de las partes de la máquina (descarga y ubicación). El montaje abarca una gran parte del proyecto, por lo tanto, se presentará una descripción detallada de los trabajos relevantes del montaje, iniciando con la instalación de la tubería de fluido térmico, pasando por la instalación de equipos y acometida eléctrica, instalación mecánica, instalación de tubería agua, modificaciones realizadas al sistema, hasta la puesta en marcha que incluye las pruebas y evaluaciones sobre tipos de combustibles a emplear.

Los costos son uno de los puntos más importante en la evaluación de todo proyecto, por tal razón se detalla cada uno de los gastos realizados en el montaje y arranque de la máquina; se tomarán en cuenta servicios subcontratados, suministros, materiales y herramientas. Se analizarán también los costos por combustibles.

Con base en los costos de operación de la caldera de carbón, del montaje y puesta en marcha de la nueva caldera se realiza el estudio económico que arrojará los detalles del beneficio neto, rentabilidad del proceso (mediante comparación) y tiempo de recuperación de la inversión.



## **1. GENENERALIDADES DE LA EMPRESA**

### **1.1. Historia**

Textiles del Sur Internacional, S. A. es una empresa 100 % guatemalteca orientada a la industria textil que se dedica a la producción de una variedad de telas de algodón, poliéster y mezclas. Fue fundada el 20 de febrero de 1981 y desde entonces ha incursionado tanto en el mercado local como internacional. La fundación fue llevada a cabo por Guillermo Zimeri Massis y Juan José Jop Gazel.

### **1.2. Ubicación**

La empresa, también llamada Textisur, se estableció desde su fundación en el Complejo Industrial Mayan Golf, al sur de Villa Nueva. La dirección registrada de la compañía es: km 18,5 carretera al Mayan Golf, Villa Nueva y el teléfono es 6628-0800. En la figura 1 se puede apreciar una imagen satelital de Textisur.

Figura 1. **Imagen satelital de Textiles del Sur Internacional, S. A.**



Fuente: Google Earth. Consulta: 3 de mayo de 2014.

### **1.3. Visión**

La visión de la empresa proclama lo siguiente: “Ser la organización guatemalteca manufacturera de productos textiles de mayor reconocimiento en el mercado mundial.” <sup>1</sup>

### **1.4. Misión**

La misión de la empresa es: “Ser una organización líder a nivel regional en la industria textil. Nuestra prioridad es el cliente, por lo que contamos con

---

<sup>1</sup> Visión proporcionada por Textisur.

tecnología adecuada para satisfacer sus requerimientos en cuanto a calidad, precio y tiempo de entrega.”<sup>2</sup>

### 1.5. Valores

Los valores sobre los que se sostiene la empresa son:

- Liderazgo
- Ética
- Sentido de pertenencia
- Desarrollo
- Apertura al cambio

### 1.6. Productos

Las telas más producidas en Textisur se presentan en la siguiente tabla:

Tabla I. Telas más producidas

| Nombre de productos |                     |                       |
|---------------------|---------------------|-----------------------|
| <i>Warp knit</i>    | <i>Twil</i>         | <i>Pique</i>          |
| <i>Dazzle</i>       | <i>Twil spandex</i> | <i>Eyelet</i>         |
| <i>Micro mesh</i>   | Toalla              | <i>Miniwafle</i>      |
| <i>Mini mesh</i>    | Canvas              | <i>Flat back mesh</i> |
| <i>Power net</i>    | Lona                | <i>Interlock</i>      |
| <i>Pindye</i>       | Franela             | <i>Waffle</i>         |
| <i>Pinstripe</i>    | Mantilla            |                       |
| <i>Tricott</i>      | <i>Bedfor</i>       |                       |
| <i>Jersey</i>       | <i>Rib</i>          |                       |

Fuente: elaboración propia.

---

<sup>2</sup> Misión proporcionada por Textisur.

## **1.7. Procesos de producción**

La producción se lleva a cabo en distintos departamentos o áreas, cada uno de ellos se describirá a continuación en forma general.

### **1.7.1. Hilatura de algodón**

La hilatura es uno de los procesos más extensos y complejos en la industria textil. Es el lugar donde inicia el proceso de producción de tejidos con hilo de algodón. Es aquí donde la fibra de algodón llega en forma de paquetes sin procesar y, a través de una serie de etapas, se transforma en hilo que posteriormente será utilizado como trama o urdimbre. La primera etapa del proceso de hilatura se llama apertura, los paquetes de algodón son depositados en una pista. El objetivo en esta etapa es “provocar la apertura de las fibras en copos y la limpieza profunda de las mismas, eliminando todas las impurezas que trae el algodón del campo.”<sup>3</sup>

Figura 2. **Máquina de apertura o abridora**



Fuente: Textisur.

---

<sup>3</sup> Fiusac. Curso de Ingeniería Textil I, unidad 1, abridoras y batanes. Ing. Aldo García.

El paso siguiente es una limpieza llevada a cabo por máquinas sopladoras. Estas máquinas continúan con la eliminación de basuras de la fibra de algodón. Por medio de ductos, la fibra es conducida hacia el siguiente proceso, el cardado, que es llevado a cabo por unas máquinas llamadas cardas las cuales cumplen con dos tareas, la primera es terminar la limpieza iniciada en la etapa de apertura y la segunda “consiste en ordenar las fibras limpias y empezar la individualización y paralelización de las fibras, conformando un velo que da lugar a una primera cinta de fibras regulares.”<sup>4</sup> En el cardado se eliminan los nudos, disminuye la cantidad de fibras cortas y se aplana la capa de fibras preparándolas para el estiraje.

Figura 3. **Salida de carda**



Fuente: Textisur.

---

<sup>4</sup> Fiusac. Curso de Ingeniería Textil I, unidad 1, cardado. Ing. Aldo García.

Figura 4. **Máquina manual**



Fuente: Textisur.

A continuación se hace el estiraje y doblado, en máquinas manuales. Aquí se estiran las fibras regulares, buscando una paralelización adicional de la cinta y uniformidad de masa en toda su longitud. Del estiraje y doblado se pasa al peinado que “consiste en eliminar las fibras cortas y colocar las restantes fibras largas paralelamente unas con otras en otra cinta.”<sup>5</sup> Debido a que en Textisur se producen dos tipos de hilo, *open-end* y de anillos, el proceso es un tanto diferente para cada tipo a partir de esta etapa.

Figura 5. **Vista lateral de máquina mechera**



Fuente: Textisur.

---

<sup>5</sup> Fiusac. Curso de Ingeniería Textil I, unidad 1, peinado. Ing. Aldo García.

Para el hilo de anillos, la etapa que sigue se denomina estiraje y torsión, y es realizada por máquinas llamadas mecheras, las cintas utilizadas son las provenientes de los manuales. Las cintas reciben una torsión que brinda la resistencia necesaria para soportar un devanado, el producto de esta etapa es la bobina de mechas fina. Cuando ya se tiene la bobina de mechas, producida por las mecheras, es posible pasar a la hilatura, lugar donde las máquinas continuas de hilar le dan al grupo de fibras de mecha el afinamiento necesario para obtener el título de hilado y la torsión requerida.

Figura 6. **Vista lateral de una máquina continua de hilar**



Fuente: Textisur.

Para el caso de la producción del hilo *open-end*, al terminar el proceso en los manuales, la fibra es conducida en recipientes a las máquinas continuas de hilar, que transforman la cinta de fibra doblada por los manuales, directamente a bobinas de hilo. Por lo general, este tipo de hilo es mucho más grueso.

Figura 7. **Continua de hilar de hilo *open-end***



Fuente: Textisur.

Por último, el hilo de anillos en canillas o husadas procedentes de la hilatura es dirigido a la sección de enconado para el envasado. Durante este proceso, se ejecuta también el control y purgado de los defectos y fibras extrañas que en el proceso se hayan pegado al hilo.

Figura 8. **Máquina de enconado del hilo de anillos**

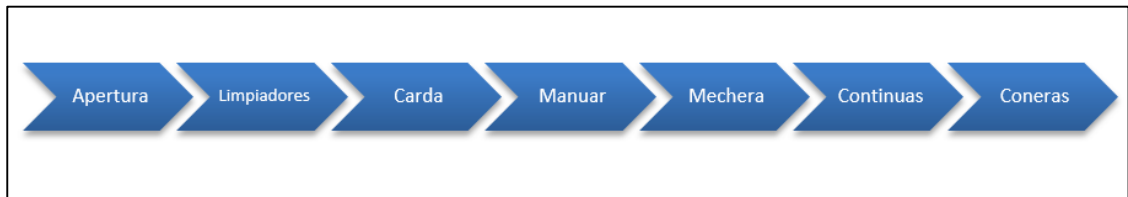


Fuente: Textisur.

Con esto se termina el proceso de hilatura, punto de partida para la producción de cualquier tipo de tejido de algodón o mezcla.



Figura 9. **Diagrama de flujo de producción hilo de anillos**



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Diagrama de flujo de producción de hilo *open-end***



Fuente: elaboración propia.

Los siguientes títulos de hilo son producidos con frecuencia en la hilatura. Se nombran bajo el sistema de titulación Denier.

- Hilo Den. 20
- Hilo Den. 12
- Hilo Den. 10

### **1.7.2. Urdido**

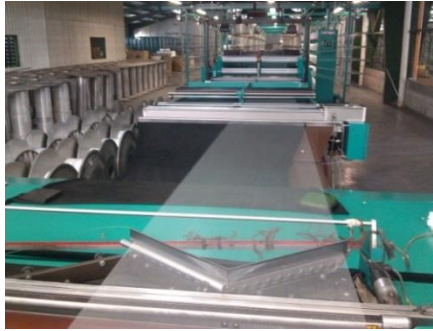
Es un proceso intermedio entre la hilatura y la tejeduría. En él, los conos son dispuestos en máquinas de urdir para formar carretes de hilo que luego pasarán directamente a la tejeduría, en caso de los hilos sintéticos, y a engomado, en caso de los hilos de algodón. Existen dos tipos: urdido sintético y urdido de algodón.

#### **1.7.2.1. Urdido sintético**

Se producen los carretes que serán utilizados posteriormente en la tejeduría rectilínea. Para el proceso se utilizan urdidoras que tienen una capacidad que oscila entre 1 400 y 1 500 conos, estas formarán un carrete con la misma cantidad de puntas.

Los hilos que se emplean en este proceso son fabricados de fibras de origen mineral como el poliéster y el nailon, los cuales no son fabricados dentro de la empresa, sino que son importados directamente desde las casas productoras.

Figura 11. **Urdidora de hilo sintético**



Fuente: Textisur.

#### **1.7.2.2. Urdido de algodón**

Este proceso es exclusivo para el hilo de fibra de algodón está gobernado por el mismo principio que el de urdido sintético. Las urdidoras sostienen varios cientos de hilos que son enrollados en un carrete. La diferencia con el urdido sintético es que el proceso siguiente no es la tejeduría sino un proceso intermedio denominado engomado.

Figura 12. **Urdidora de hilo de algodón**



Fuente: Textisur.

### **1.7.3. Engomado**

En este proceso, varios carretes provenientes del urdido de algodón son montados en una máquina especial llamada engomadora, para conformar un carrete mayor. Durante el proceso, a los hilos se les da un baño químico especial con goma, para aumentar su resistencia.

Figura 13. **Engomadora de hilo de algodón**



Fuente: Textisur.

Sin el proceso de engomado sería imposible tejer, porque los hilos no soportarían las altas fuerzas de tensión que se generan en las máquinas tejedoras.

### **1.7.4. Tejeduría**

Textisur cuenta con tres tipos de tejeduría muy diferenciadas: tejeduría rectilínea, tejeduría plana y tejeduría circular. En cada una de ellas el objetivo es generar tejidos.

#### 1.7.4.1. Tejeduría rectilínea

En la tejeduría rectilínea se montan varios carretes provenientes del urdido sintético en máquinas de tejer rectilíneas que trabajan bajo el principio del tejido de punto o malla. En esta tejeduría no hay trama, solamente urdimbre, el amarre de los hilos es producido por el movimiento horizontal de las agujas. Las telas más producidas en esta tejeduría se presentan en la tabla II.

Figura 14. Máquina de tejer rectilínea



Fuente: Textisur.

Tabla II. Telas producidas en máquinas de tejer rectilíneas

| <b>Tela</b>       |
|-------------------|
| <i>Warp knit</i>  |
| <i>Dazzle</i>     |
| <i>Micro mesh</i> |
| <i>Mini mesh</i>  |
| <i>Power net</i>  |

Fuente: elaboración propia.

#### 1.7.4.2. Tejeduría plana

Este tipo de tejeduría es denominado así por la forma perpendicular en que se intersectan la trama y el urdimbre. El proceso inicia cuando los carretes con hilo engomado, provenientes del área de urdido de algodón y engomado, se montan en los telares planos. Luego, la máquina es preparada por los operadores e inicia su ciclo de producción. Estas máquinas tienen la peculiaridad de generar bastante ruido, se han hecho estudios y el nivel de sonoridad alcanza los 110 dB.

Figura 15. Máquina de tejer plana



Fuente: Textisur.

Tabla III. Telas producidas en máquinas de tejido plano

| <b>Tela</b>         |
|---------------------|
| <i>Twil</i>         |
| <i>Twil spandex</i> |
| Toalla              |
| Canvas              |
| Lona                |

Fuente: elaboración propia.

#### 1.7.4.3. Tejeduría circular

Una de las características de la tejeduría circular es que no tiene ni urdimbre ni trama. El movimiento de estas máquinas al tejer es circular y de allí toma su nombre, es un género de tejido de punto o malla al igual que la tejeduría rectilínea. Los conos son colocados en las filetas del telar circular que, por medio neumático, los va uniendo en su centro rotativo hasta producir un rollo de tela.

Figura 16. Máquina de tejer circular



Fuente: Textisur.

Tabla IV. Telas producidas en máquinas de tejido circular

| Tela                  |
|-----------------------|
| <i>Pique</i>          |
| <i>Eyelet</i>         |
| <i>Miniwafle</i>      |
| <i>Flat back mesh</i> |
| <i>Interlock</i>      |
| <i>Jersey</i>         |
| <i>Waffle</i>         |

Fuente: elaboración propia.

### **1.7.5. Tintorería**

Luego de la etapa de tejeduría, los diferentes tipos de tela son transportados, centralizados y ordenados en un depósito temporal, a la espera de la solicitud por parte de las tintorerías. Este depósito se llama bodega de producto en proceso o bodega de producto en crudo.

Cuando se programa la tintura de algún lote de tela, la bodega de crudo hace el traslado del mismo a la tintorería correspondiente de acuerdo al material de fabricación de las telas y al proceso a realizar sobre ellas. La mayor parte de telas a base de fibras de algodón es teñida en frío por la tintorería continua, mientras que el resto de tejidos (circular, rectilíneo o toalla) se tiñen en la tintorería cerrada.

Los factores que condicionan la ruta de producción de cualquier tipo de tejido, además del tipo de material con el que se fabrican los tejidos, son gramaje, acabado, color y resistencia, entre otros.

#### **1.7.5.1. Tintorería continua**

Este elemento del proceso textil es bastante largo, inicia cuando la bodega de producto en crudo recibe la orden de trasladar lotes de tela para la sección de enrollado. En esta parte del proceso, se une la mayor cantidad de rollos de tela en un estante, con el objetivo de hacer continuo el proceso, aumentar la eficiencia, reducir los tiempos de preparación entre teñidas y los tiempos muertos. El estante puede llegar a contener varios cientos de metros. El paso a seguir es el lavado de la tela, para desprender la suciedad y los residuos de fibras de algodón acarreadas de procesos anteriores, esto lo realiza una lavadora continua.



El siguiente paso es denominado lavado y blanqueo, en el cual a la tela se le da un baño de sosa caustica y peróxido de hidrógeno, para quitarle los residuos naturales, por un lado, y por el otro, dotar al tejido del color blanco que permitirá la aplicación del color deseado. Puede que algunas telas requieran un mercerizado, que es optativo, pero que tiene como ventaja que le otorga a los tejidos mayor resistencia mecánica y un acabado más fino.

Figura 17. **Lavadora y blanqueadora continua**



Fuente: Textisur.

En la etapa siguiente, los lotes son teñidos en frío por máquinas *pad batch*, este proceso es bastante rápido y sin demasiados pasos intermedios. Un periodo de reposo para fijar el color debe darse a cada lote de tela teñido. Por último, la tela vuelve a pasar por un lavado que tiene como objetivo principal desprender todos los residuos de químicos y colorantes pegados a los tejidos durante el proceso de teñido.

Figura 18. ***Pad batch*** de tintura continua



Fuente: Textisur.

Tabla V. **Telas procesadas en tintorería continua**

| <b>Tela</b>         |
|---------------------|
| <i>Twil</i>         |
| <i>Twil Spandex</i> |
| Canvas              |
| Lona                |
| <i>Bedford</i>      |
| <i>Herrigbone</i>   |

Fuente: elaboración propia.

#### **1.7.5.2. Tintorería cerrada**

Los rollos de tela son cargados a las máquinas teñidoras y estas son las encargadas de realizar los demás procesos en su interior. Estas máquinas trabajan con vapor para elevar la temperatura y presurizar la tela según lo requiera la formulación de teñido. El descruce es el primer paso, seguido de un enjuague que elimina residuos y limpia la superficie de la tela. Luego, la máquina abre el paso de vapor para aumentar la temperatura y la presión, en

este punto se agregan los colorantes y químicos para que la tela reciba el baño de color. Esta materia prima es colocada en unas hoyas en cantidades preestablecidas y la máquina automáticamente los dosifica en su interior, según lo requiera el programa de teñido.

Figura 19. **Máquina de tintura cerrada**



Fuente: Textisur.

Luego de la etapa de teñido, la máquina inicia con el fijado, en el mismo se agregan químicos especiales que fijan por completo el color, a esto le sigue un enjuague final con agua a temperaturas inferiores. Los torniquetes de la máquina descargan los lotes de tela teñida en canoas gigantes que quedan a la espera de ser transportadas al área de acabados.

Tabla VI. **Telas procesadas en tintorería cerrada**

| <b>Tela</b>           |
|-----------------------|
| Toalla                |
| <i>Eyelet y Pique</i> |
| <i>Micro mesh</i>     |
| <i>Interlock</i>      |

Fuente: elaboración propia.

### 1.7.6. Acabados

Tanto las telas teñidas en tintorería cerrada como en tintorería continua deben atravesar por un proceso de acabado. Acabado es un término que se aplica a una gama muy amplia de tratamientos que suelen llevarse a cabo durante la fase final de fabricación, antes de la confección. Algunos acabados se aplican incluso después de la confección. Se clasifican en acabados mecánicos y acabados químicos. El proceso, *grosso modo*, consisten en secar la tela, como una plancha para ropa, pero, además, la tela se corta en sus extremos para ajustarla al ancho final del producto también, se mejora la textura y el tacto de la misma se hace más suave.

Las máquinas que hacen el secado y acabado principal son denominadas ramas, cabe resaltar que actualmente el calor con que secan la tela es generado por calentadores o calderas de fluido térmico de combustión por bunker. En los demás acabados especiales se pueden utilizar la sanforizadora, tundidora, lijadora o afelpadora. Cada una de ellas aporta una característica única al producto terminado.

Figura 20. Máquina de acabados (rama)



Fuente: Textisur.

### 1.7.7. Estampado

Es un proceso y a la vez un servicio que presta la empresa. Proceso porque algunas telas son solicitadas con algún tipo de diseño estampado, ejemplos de ellas son la mantilla y la cretona. Y servicio, porque algunas empresas llevan sus tejidos únicamente para que se les imprima cierto diseño.

El estampado se realiza en máquinas continuas de estampar que pueden ser de marcos y de rodillos. Las telas como la mantilla, cretona, *debore*, y *rib* son las que más demanda de estampado tienen.

Tanto los rodillos como los marcos son diseñados de acuerdo a las necesidades de la tela o el cliente. El lugar donde se reproducen los diseños en marcos y cilindros se llama grabados. Este es un cuarto especial donde se revelan en negativo y producen en masa los marcos y rodillos que requieren los diseños creados por el Departamento de Dibujo Técnico a solicitud del cliente.

Figura 21. Estampadora de tela



Fuente: Textisur.

### **1.7.8. Laboratorios**

La empresa cuenta con dos laboratorios dedicados a realizar fórmulas de teñido, pruebas y ensayos. El primero, llamado Laboratorio de Tintorería, es el encargado de diseñar la formulación de colores, químicos y parámetros de temperatura para lograr teñir cualquier tipo de color y acabado requerido, hace todo el proceso de tintura a pequeña escala y le trasladan la receta a las tintorerías para que la puedan ejecutar en la producción masiva.

El segundo laboratorio es el de Pruebas Físicas, en él, las telas teñidas son comprobadas con el estándar y se decide si se aprueba o rechaza el color. Además, se realizan varias pruebas para verificar que no se desprenda el color y que las propiedades físicas sean las indicadas en la ficha técnica del producto.

### **1.7.9. Revisión**

En revisión, la tela que proviene de los diferentes procesos de acabados pasa por una última inspección. Se cuantifican la cantidad de fallas por metro encontradas en los lotes de tela y se clasifica según su calidad.

Las fallas son producto de un mal proceso o procedimiento las mismas, pueden ser vistas por inspección minuciosa y ponderadas según su longitud, en un sistema universal llamado cuatro puntos. La tabla VII contiene las fallas más comunes en los procesos de producción.

Figura 22. **Revisadora de tela terminada**



Fuente: Textisur.

Tabla VII. **Fallas comunes en telas, por departamento**

| <b>Tintorería</b> | <b>Tejeduría</b> | <b>Acabados</b>   |
|-------------------|------------------|-------------------|
| Manchas de color  | Aruñones         | Ancho malo        |
| Orilla mal teñida | Hilo contaminado | Arrugado          |
| Mala solidez      | Falla de peine   | Razgado           |
| Tonalidad dispar  | Parones          | Tejido abierto    |
| Aruñones          | Gradeado         | Manchas de aceite |
| Hilo mal teñido   | Barrado          | Peso malo         |
| Parones           | Hilo mal pasado  | Quiebres de rama  |

Fuente: Textisur.

Existen tres clasificaciones de calidad de tela que están en función de la cantidad de fallas por cada cien metros de tejidos.

Tabla VIII. **Calidad de telas en función de fallas**

| <b>Calidad</b> | <b>Fallas por cada 100 metros</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| Exportación    | <= 40                             |

Continuación de la tabla VIII.

|         |               |
|---------|---------------|
| Primera | Entre 40 y 50 |
| Segunda | > 50          |

Fuente: Textisur.

### 1.8. Departamentos y divisiones

La estructura organizacional de la empresa se presenta en la tabla IX, incluyendo todos los departamentos y áreas que participan directa o indirectamente en la producción.

Tabla IX. **Departamentos y divisiones de la empresa**

| <b>Departamento</b>            | <b>Divisiones</b>      |
|--------------------------------|------------------------|
| Bodega de Materia Prima        | Taller mecánico        |
| Bodega de Producto Terminado   | Taller eléctrico       |
| Tejeduría Rectilínea           | Taller de calderas     |
| Urdido Sintético               | Compresores            |
| Confección                     | Aire acondicionado     |
| Despachos                      | Ventas locales         |
| Bodega de Crudo                | Ventas internacionales |
| Urdido de Algodón              |                        |
| Urdido Sintético               |                        |
| Engomado                       |                        |
| Tejeduría Plana                |                        |
| Revisado                       |                        |
| Tintorería Cerrada             |                        |
| Tintorería Continua            |                        |
| Laboratorio de Pruebas Físicas |                        |
| Laboratorio de Tintorería      |                        |
| Estampado                      |                        |
| Acabados                       |                        |
| Texturizado                    |                        |
| Hilatura                       |                        |



Continuación de la tabla IX.

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Mantenimiento                |  |
| Ingeniería                   |  |
| Planificación y Programación |  |
| Compras y Ventas             |  |
| Recursos Humanos             |  |
| Contabilidad y Facturación   |  |

Fuente: elaboración propia.

### **1.9. Equipos auxiliares**

Son todos aquellos que apoyan a la producción porque brindan suministros que son indispensables para llevar a cabo la mayoría de los procesos textiles. Como suministros de producción están los siguientes: vapor, agua suave, agua fría, calor, aire comprimido y aire acondicionado.

#### **1.9.1. Compresores**

“Los compresores se utilizan para incrementar la presión y mover el aire y otros gases. Los compresores pueden llegar a desarrollar presiones elevadas de varios miles de psi.” <sup>6</sup> En Textisur los compresores son los encargados de producir aire a presiones muy por arriba de la atmosférica, este es empleado para muchas tareas dentro de la planta. Algunas de las aplicaciones del aire comprimido en Textisur son: accionamiento válvulas neumáticas, electroválvulas, pistones neumáticos y compuertas. Los departamentos que requieren de este suministro para trabajar se enumeran en la tabla X.

---

<sup>6</sup> MOTT, Robert L. *Mecánica de Fluidos*. p. 544.

Figura 23. **Compresor de aire**



Fuente: Textisur.

Tabla X. **Departamentos que utilizan aire comprimido**

| Departamento |                   |          |
|--------------|-------------------|----------|
| Hilatura     | Estampado         | Acabados |
| Tejedurías   | Revisado          | Engomado |
| Tintorerías  | Urdido de Algodón |          |

Fuente: elaboración propia.

Textisur cuenta con ocho compresores que se clasifican según su potencia.

Tabla XI. **Cantidad y tipo de compresores**

| Cantidad | Potencia (hp) | Tipo        |
|----------|---------------|-------------|
| 1        | 40            | De tornillo |
| 1        | 75            |             |
| 2        | 150           |             |
| 2        | 200           |             |
| 2        | 700           | De turbinas |

Fuente: elaboración propia.

### 1.9.2. Suministro de vapor

El vapor es un estado del agua en el cual sus moléculas están presurizadas y llenas de energía térmica. Este estado de la materia es utilizado en la empresa para calentar el interior de algunas máquinas y lograr la temperatura requerida en los respectivos procesos o para secar la tela o darle cierto acabado.

Figura 24. **Manifould de distribución de vapor**



Fuente: Textisur.

Los siguientes departamentos necesitan vapor en sus procesos.

Tabla XII. **Departamentos que emplean vapor en procesos**

| Departamento |                   |
|--------------|-------------------|
| Hilatura     | Urdido de Algodón |
| Tintorerías  | Engomado          |
| Acabados     |                   |

Fuente: elaboración propia.

El suministro de vapor proviene de la cogeneración de la Compañía Eléctrica La Libertad. El vapor de escape de la caldera es conducido desde la turbina del generador hasta un *manifould* de distribución, donde es distribuido hacia el interior de la planta. La presión del vapor a la llegada al *manifould* es generalmente de 80 psi.

### **1.9.3. Calderas de fluido térmico**

Las calderas de fluido térmico son las encargadas de generar el calor necesario para secar los tejidos. Lo hacen utilizando el principio de transferencia del calor. En Textisur existen dos calderas de fluido térmico que ayudan a abastecer de calor a los siguientes departamentos: Acabados y Estampado.

Figura 25. **Caldera de combustión por bunker**



Fuente: Textisur.

#### **1.9.4. Suavizadores de agua**

El agua empleada en los procesos de producción debe ser suave, con el objetivo de lograr excelentes resultados de tintura, lavado, blanqueo, entre otros. El agua dura es indeseable. La dureza mide la cantidad de minerales disueltos que posee el agua, estos minerales producen incrustaciones que se adhieren a las cañerías y superficies de las máquinas, generando complicaciones en los procesos de producción.

Los equipos encargados de disminuir la dureza del agua extraída de la corteza terrestre se llaman suavizadores de agua, estos trabajan utilizando sal industrial como materia prima. Luego, el agua es enviada a tanques subterráneos donde bombas se encargan de distribuirla a toda la planta. El rango de dureza recomendable para el agua de los procesos varía de 2,0 a 3,5. La empresa cuenta con ocho suavizadores para realizar esta tarea, se encienden según la demanda de agua en la planta.

**Figura 26. Suavizadores de agua**



Fuente: Textisur.

Los departamentos que necesitan estrictamente agua suave para trabajar se muestran en la tabla XIII.

Tabla XIII.      **Departamentos que utilizan agua suave**

| Departamento        |              |
|---------------------|--------------|
| Tintorería Cerrada  | Estampado    |
| Tintorería Continua | Laboratorios |

Fuente: elaboración propia.

#### **1.9.5.      *Chillers***

Son equipos de refrigeración que tienen la tarea de enfriar el agua que será utilizada en algunas máquinas que necesitan tal condición para operar. El sistema consta de un tanque que tiene en su interior un serpentín por el cual circula gas refrigerante R-22 a muy baja temperatura. El tanque se llena de agua y, por transferencia, el agua disminuye su temperatura.

Figura 27.      ***Chillers de agua fría***



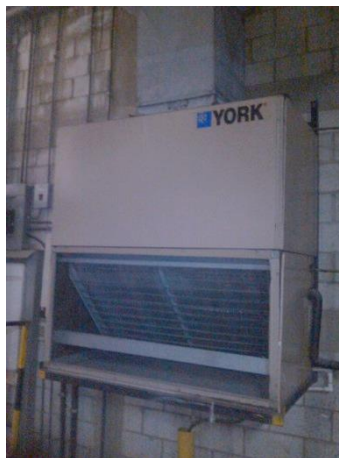
Fuente: Textisur.

El agua fría alcanza aproximadamente 10 °C de temperatura, esta agua es dirigida por red de agua fría a través de bombas hidráulicas hacia los *pad batch*, en Tintorería Continua, y hacia la rama 3, en Acabados.

#### **1.9.6. Aire acondicionado y climatización**

El aire acondicionado no solo se utiliza en las oficinas administrativas para garantizar la zona de confort en las salas y oficinas, es utilizado también en Tejeduría Rectilínea para mantener estable la temperatura del área de producción, ya que un cambio brusco de la misma puede significar que las fibras se revienten por la tensión o compresión cuando la temperatura sube y disminuye respectivamente. El aire acondicionado es producido por sistemas de refrigeración de varias toneladas de capacidad.

Figura 28. **Sistema de refrigeración para máquinas de tejer rectilíneas**



Fuente: Textisur.

Algunos equipos de aire acondicionado están instalados en los paneles eléctricos de ciertas máquinas, con el objetivo de reducir la temperatura y evitar

fallas por sobrecalentamiento en dispositivos eléctricos, como variadores de frecuencia y transformadores.

En el Departamento de Tejeduría Plana se necesita, al igual que en el de Tejeduría Rectilínea, el control de la humedad y la temperatura del salón, para evitar problemas con la consistencia del hilo. Para este trabajo se utilizan enormes sistemas de climatización que atomizan agua para ajustar la humedad y temperatura del salón de trabajo.



## **2. SITUACIÓN ACTUAL**

### **2.1. Calderas de fluido térmico**

La generación de calor, suministro fundamental en el proceso final de producción textil, se lleva a cabo actualmente por dos calderas de fluido térmico de combustión por bunker.

#### **2.1.1. Operación y funcionamiento**

Las calderas utilizan un sistema de electrodos de ignición para crear la chispa de forma automática. El bunker, que es almacenado en tanques subterráneos, se bombea a un tanque intermedio con capacidad de 300 gal, denominado tanque elevado, este cumple la función de mantener un abastecimiento continuo de combustible a la caldera.

El bunker es bombeado desde el tanque elevado hasta la parte superior de la caldera, donde se atomiza y combina con la chispa generada por los electrodos y con el aire producido por el ventilador principal, para crear la llama que es dirigida desde arriba hacia abajo.

La llama o fuego genera la concentración de calor en el domo de la caldera. En el interior de la caldera hay una serie de serpentines o tubos por los cuales circula el fluido térmico. El calor se transmite a estos tubos y, por ende, al aceite, el mismo posee un punto de evaporación muy alto.

La llama o fuego genera la concentración de calor en el hogar de la caldera y ese calor se transmite a los tubos internos por los cuales se hace circular el fluido térmico, para el caso de estas calderas, se utiliza aceite como medio de transporte para el calor.

Conforme transcurre el tiempo y la combustión se mantiene estable, la temperatura del aceite sube hasta alcanzar temperaturas en el rango de los 260 a 290 °C. Luego, se abren las válvulas y se encienden las bombas auxiliares de circulación que conducen el calor hacia las máquinas que lo necesiten. En las máquinas hay intercambiadores de calor y radiadores que, en conjunto con turbinas de aire, transmiten el calor del aceite hacia los productos, para realizar el proceso de secado y acabado. Los gases de combustión producidos en el interior de la caldera son descargados hacia la atmosfera a través de la chimenea de tiro forzado.

### **2.1.2. Equipo y elementos de caldera**

Los equipos y elementos que conforman el actual sistema de calderas de fluido térmico se enumeran a continuación:

- Motor de bomba principal de circulación
- Bomba principal de circulación
- Motor de bomba de alimentación de bunker
- Bomba de alimentación de bunker
- Electrodo de ignición
- Tanque de almacenamiento de bunker y tanque de expansión
- Fotocelda de llama y quemador
- Manómetros y termómetros
- Válvulas de seguridad y electroválvulas

### 2.1.3. Máquinas dependientes

Las máquinas que necesitan calor para realizar sus procesos de carácter productivo son, por lo general, aquellas que utilizan la transferencia de temperatura para secar todos los productos que han pasado por procesos de teñido y lavado. En estampado, también se emplea calor para fijar en la tela los colores o diseños.

En la tabla XIV se hace un resumen de las máquinas dependientes de las calderas de bunker.

Tabla XIV. Máquinas dependientes de la caldera de térmica

| Departamento | Máquinas             |
|--------------|----------------------|
| Acabados     | Rama Monforts 1      |
| Acabados     | Rama Monforts 2      |
| Acabados     | Rama Monforts 3      |
| Acabados     | Rama Famatex         |
| Acabados     | <i>Tumbler Thies</i> |
| Estampado    | Estampadora Buser    |
| Estampado    | Estampadora Zimmer   |

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.4. Red de tubería térmica

La red tubería de aceite térmico consta de tres circuitos, por tal razón existen tres bombas auxiliares de distribución. El motivo de tener circuitos independientes es para conducir el calor únicamente a las máquinas que lo demanden y reducir las pérdidas de calor por recorridos innecesarios. Los circuitos de tubería térmica se detallan a continuación.

Tabla XV. **Red de circuitos auxiliares**

| <b>Circuito</b> | <b>Máquinas</b>      |
|-----------------|----------------------|
| Auxiliar 1      | Estampadora Buser    |
|                 | Estampadora Zimmer   |
|                 | Rama Famatex         |
| Auxiliar 2      | Rama Monforts 1      |
|                 | Rama Monforts 2      |
| Auxiliar 3      | Rama Monfots 3       |
|                 | <i>Tumbler Thies</i> |

Fuente: elaboración propia.

## 2.2. Costo de operación

La operación de la caldera genera un costo variable en función del tiempo, pero se puede hacer una estimación bastante buena al proyectarlo en un mes de trabajo normal bajo condiciones de operación también normales.

### 2.2.1. Mano de obra

En la caldera de fluido térmico hay un operador a cargo por turno. Se trabaja en turnos rotativos, una semana de día y una semana de noche. Para calcular el costo de mano de obra, se supone que se trabaja de lunes a sábado de las 7 de la mañana a 7 de la noche en turno diurno y de 7 de la noche a 7 de la mañana en turno nocturno. El sueldo diario para los operadores de caldera es de Q 70,00.

Figura 29. **Cálculo de mano de obra**

Primera quincena del mes

|                | Días<br>trabajados | Sueldo<br>diario | Extras<br>día | Horas<br>noche | Total<br>ordinario | Extra<br>ordinario | Total<br>séptimo | Total<br>devengado | IGSS     | Boni.<br>decreto | Total<br>líquido |
|----------------|--------------------|------------------|---------------|----------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|----------|------------------|------------------|
| Operador A     | 13                 | Q 70,00          | 28            | 36             | Q 910,00           | Q 997,50           | Q 146,73         | Q 2 054,23         | Q 99,22  | Q 125,00         | Q 2 080,01       |
| Operador B     | 13                 | Q 70,00          | 24            | 42             | Q 910,00           | Q 1 050,00         | Q 150,77         | Q 2 110,77         | Q 101,95 | Q 125,00         | Q 2 133,82       |
| Total quincena |                    |                  |               |                |                    |                    |                  |                    |          | Q 4 213,83       |                  |

Fuente: elaboración propia.

Para este cálculo se tomó en cuenta que los pagos para el personal de producción son quincenales, es decir, con trece días laborados y dos días séptimos. Un operador tiene más horas extras que el otro debido a la rotación de turnos, un operador trabaja un día más de noche mientras que el otro trabaja en turno diurno. Como en el turno nocturno se hacen seis horas extras y en el diurno solo cuatro, allí radica la diferencia.

El ordinario se calcula multiplicando los días trabajados por el sueldo diario.

$$Total\ ordinario = Sueldo\ ordinario * Días\ trabajados$$

El extraordinario es la suma del monto por horas extras de día y el monto por horas extras de noche.

$$Total\ extraordinario = \frac{Extras\ día * Sueldo\ diario * 1,5}{8} + \frac{Extras\ noche * Sueldo\ diario * 1,5}{6}$$

Para calcular el séptimo, se suman el ordinario y el extraordinario y se divide entre los días trabajados.

$$Total\ séptimo = \frac{Total\ ordinario + Total\ extraordinario}{13}$$

El devengado es la suma de ordinario, extraordinario y séptimos.

$$Total\ devengado = Total\ ordinario + Total\ extraordinario + Total\ septimo$$

El IGSS tiene una tasa fija del 4,83 % sobre el devengado.

$$IGSS = Total\ devengado * 0,0483$$

El líquido es la suma del devengado y la bonificación de decreto, que para una quincena es de Q 125,00, menos el IGSS.

$$Total\ líquido = Total\ devengado + Bonificación\ decreto - IGSS$$

El costo de mano de obra de una quincena asciende a Q 4 123,83 y en un mes es Q 8 247,66 aproximadamente

### **2.2.2. Electricidad**

El costo por electricidad es muy representativo. Está en función de la cantidad de equipos existentes, su consumo de potencia y el tiempo que se mantienen funcionando. En la tabla XVI se muestran los equipos, los kilowatt-hora que consumen y su régimen de operación.

Tabla XVI. **Equipos eléctricos de caldera de bunker**

| <b>Equipo</b>                   | <b>Régimen de operación</b> | <b>kWh</b> |
|---------------------------------|-----------------------------|------------|
| Motor soplador                  | Continuo                    | 16,0       |
| Motor bomba bunker alta presión | Continuo                    | 5,5        |
| Motor bomba bunker baja presión | Continuo                    | 1,5        |
| Calentador de bunker            | 20 min/hora                 | 5,1        |
| Motor bomba principal           | Continuo                    | 41,6       |
| Motor bomba circuito 1          | 8 horas/día                 | 13,5       |
| Motor bomba circuito 2          | Continuo                    | 45,0       |
| Motor bomba circuito 3          | Continuo                    | 45,0       |
| Total kilowatt-hora             |                             | 173,0      |

Fuente: elaboración propia.

En un mes normal de producción se trabajan 24 días en caldera de bunker, multiplicando el consumo diario por 24 se obtiene.

Tabla XVII. **Kilowatt-hora consumidos en un mes**

| <b>Total kilowatt-hora</b> |            |
|----------------------------|------------|
| <b>Día</b>                 | <b>Mes</b> |
| 173,0                      | 4 153,0    |

Fuente: elaboración propia.

Para encontrar el costo por concepto de energía eléctrica, se multiplica la cantidad consumida en un mes por el costo unitario del kilowatt-hora .La tarifa por kilowatt-hora que la empresa paga a la Compañía Eléctrica La Libertad, su proveedor de electricidad, es 0,14 \$/kWh.

Tabla XVIII. **Costo de energía eléctrica**

| <b>Costo total energía eléctrica</b> |                |
|--------------------------------------|----------------|
| \$                                   | Q (T/C = 7,75) |
| 581,28                               | 4 504,92       |

Fuente: elaboración propia.

### 2.2.3. Combustible

Para calcular el costo por combustible, se toma el consumo diario de galones de bunker en un mes de trabajo normal y se multiplica cada uno de estos por el precio vigente para este derivado del petróleo, 22,00 Q/gal. En la sección de apéndices se muestra una tabla con el costo de abril 2013.

### 2.2.4. Costo de operación mensual

El costo total de operación mensual se encuentra al sumar el costo de mano de obra, el costo de electricidad y el costo de combustible.

Tabla XIX. **Costo de operación mensual con bunker**

| <b>Costo</b>       | <b>Monto</b> | <b>Porcentaje</b> |
|--------------------|--------------|-------------------|
| Mano de obra       | Q 8 247,66   | 1,47 %            |
| Electricidad       | Q 4 504,92   | 0,80 %            |
| Combustible        | Q 549 010,00 | 97,73 %           |
| Total de operación | Q 561 762,58 | 100,00 %          |

Fuente: elaboración propia.



### 2.3. Plan de mantenimiento

Las máquinas necesitan recibir servicio para que su vida útil aumente y para aplazar la frecuencia de fallas. La caldera de bunker, siendo una máquina crítica para la producción, recibe especial atención en labores de mantenimiento preventivo y predictivo. Los planes y rutinas de mantenimiento orientados a garantizar su correcta operación y funcionamiento se han establecido en intervalos de tiempo bisemanal, mensual, bimestral y semestral. Los mismos se presentan a continuación.

Tabla XX. Plan de mantenimiento cada dos semanas

| Rutina | Cada dos semanas                                                         |
|--------|--------------------------------------------------------------------------|
| Item   | Descripción de actividad                                                 |
| 1      | Limpieza de deflector del quemador.                                      |
| 2      | Limpieza y calibración de electrodos.                                    |
| 3      | Limpieza y lubricación de <i>dampers</i> de aspiración de aire.          |
| 4      | Limpieza de malla de seguridad de <i>blower</i> quemador.                |
| 5      | Lubricación de rótulas de brazo accionador de <i>dampers</i> .           |
| 6      | Limpieza y lubricación conjunto leva moduladora                          |
| 7      | Revisión de <i>coupling</i> de arrastre bomba- <i>blower</i> de quemador |
| 8      | Prueba de cierre correcto de electroválvulas de bunker                   |
| 9      | Limpieza de filtro línea bunker salida de tanque uso diario.             |
| 10     | Limpieza de filtro línea bunker entrada a caldera.                       |
| 11     | Evacuar agua de fondo de tanque uso diario                               |
| 12     | Limpieza de boquilla.                                                    |
| 13     | Realizar prueba a dispositivos de seguridad                              |
|        | 13.1 Control apagado por alta temperatura                                |
|        | 13.2 Verificación de funcionamiento control temperatura seteada          |
|        | 13.3 Control apagado <i>switch</i> diferencial de presión aceite térmico |
| 14     | Prueba de encendido (correcto).                                          |

Fuente: programa de mantenimiento calderas térmicas, Textisur.

Tabla XXI. **Plan de mantenimiento mensual**

| Rutina | Mensual                                                                         |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Ítem   | Descripción de actividad                                                        |
| 1      | Revisar estado de <i>coupling</i> de transmisión bombas bunker.                 |
| 2      | Inspección de <i>coupling</i> arrastre bomba- motor circulación aceite térmico. |
| 3      | Revisión del estado de mangueras del equipo.                                    |
| 4      | Desmontaje y limpieza de elementos de filtros de bunker en bombas y quemador.   |
| 5      | Revisión de nivel de aceite tanque de expansión.                                |
| 6      | Inspección existencia agua tanque para contención (evacuarla si existe).        |
| 7      | Evacuar ceniza de filtro multiciclónico                                         |
| 8      | Prueba de funcionamiento (correcto).                                            |

Fuente: programa de mantenimiento calderas térmicas, Textisur.

Tabla XXII. **Plan de mantenimiento bimestral**

| Rutina | Bimestral                                                                                  |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ítem   | Descripción de actividad                                                                   |
| 1      | Limpieza interna de chimenea.                                                              |
| 2      | Limpieza de sensor temperatura salida de humos.                                            |
| 3      | Limpieza y reapriete de contactos eléctricos de panel control, caldera y bombas de bunker. |

Fuente: programa de mantenimiento calderas térmicas, Textisur.

Tabla XXIII. **Plan de mantenimiento semestral**

| Rutina | Semestral                                                                           |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Ítem   | Descripción de actividad                                                            |
| 1      | Realizar prueba de dispositivos de seguridad                                        |
|        | 1.1 Funcionamiento termostato alta temp. Humos.                                     |
|        | 1.2 Funcionamiento termostato alta temp. Aceite térmico.                            |
|        | 1.3 Funcionamiento <i>switch</i> control de flujo.                                  |
| 2      | Apertura de caldera para limpieza e inspección                                      |
|        | 2.1 Limpieza interna.                                                               |
|        | 2.2 Inspección del estado de tubería y superficies del hogar.                       |
|        | 2.3 Inspección y limpieza de lado inferior trasero (tapa de inspección).            |
|        | 2.4 Cambio de empaquetadura.                                                        |
|        | 2.5 inspección del estado del refractario, reparar si requiere                      |
| 3      | Revisión y limpieza interna motor <i>blower</i> de quemador.                        |
| 4      | Limpieza interna de chimenea y filtro multiciclónico                                |
| 5      | Desmontaje de motor bomba circulación de aceite para mantenimiento electromecánico. |

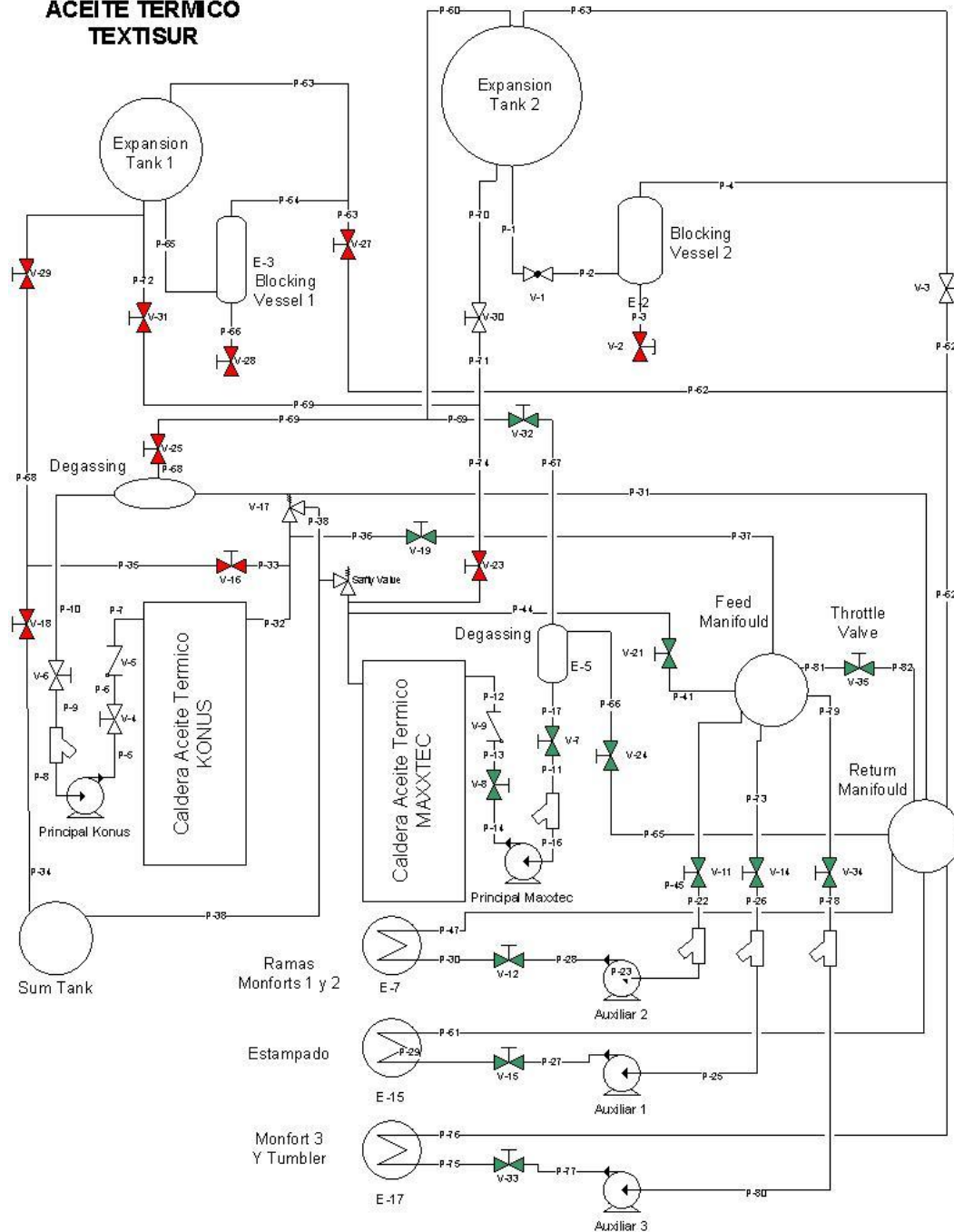
Fuente: programa de mantenimiento calderas térmicas, Textisur.

#### 2.4. Diagrama de equipos

El diagrama de equipos muestra la forma en que están distribuidos los accesorios, elementos y equipos del sistema de calderas, como motores, válvulas, cheques, tanques. En él se aprecia de mejor manera cómo es el ciclo de circulación del fluido térmico.

Figura 30. Diagrama de sistema de aceite térmico

**DIAGRAMA DE SISTEMA  
ACEITE TERMICO  
TEXTISUR**



Fuente: manuales y planos de mantenimiento, Textisur.

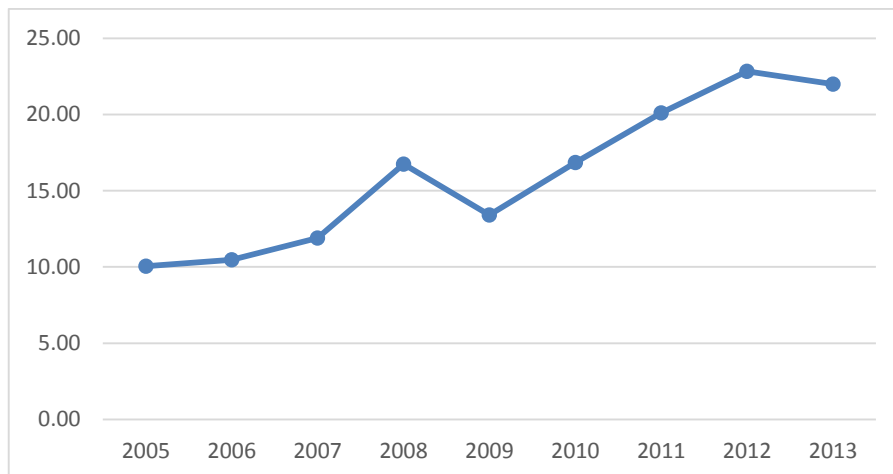
### 3. PROPUESTA Y MONTAJE

#### 3.1. Lluvia de ideas

El proyecto de montaje de un nuevo sistema de fluido térmico nace de la necesidad de disminuir los costos de operación en los que se incurre por lo compra del combustible que alimenta a las actuales calderas. Este combustible es el bunker, un derivado del petróleo que por años ha dominado fuertemente el mercado de los combustibles para calderas, pero que paulatinamente ha ido aumentando su precio.

En la figura 31 se muestra el comportamiento histórico del bunker:

Figura 31. **Histórico del precio promedio del galón de bunker (Q)**



Fuente: sistema de información, Textisur.

La tendencia ascendente es inevitable y, por lo tanto, el costo de este suministro atenta contra la economía de toda empresa. Como se mencionó antes, a raíz de esta urgente necesidad es preciso buscar opciones orientadas a mejorar la situación actual. Por parte de la Gerencia General, la Gerencia de Producción y la de Mantenimiento se generó una lluvia de idea de posibles soluciones. La misma se muestra a continuación, en forma de diagrama de afinidad.

Tabla XXIV. **Alternativas y porcentaje de aceptación**

| <b>Alternativa</b>                                     | <b>Nivel de aceptación</b> |
|--------------------------------------------------------|----------------------------|
| Quemadores de gas                                      | 20 %                       |
| Caldera de carbón-biomasa con generador de vapor 1 TmV | 80 %                       |

|                                                                  |                                                  |                                                                 |                                                                            |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Costo de operación bajo                                          | El petróleo aumenta de precio                    | El combustible es más barato                                    | Disponibilidad de combustible                                              |
| Caldera eficiente                                                | Se necesita hacer cambios en un mundo que cambia | Mejorar costos de producción                                    | Enfoque ecológico                                                          |
| El carbón es barato                                              | El gas se deriva directamente del petróleo       | Los quemadores de gas es una opción más rápida                  | El costo de los quemadores es mucho menor a la compra de una caldera nueva |
| La generación de vapor ayuda a mantener la presión en el sistema | La biomasa es barata                             | Utilizar gas conlleva una moderada tasa de riesgo por explosión | Se dispone de un proveedor de carbón a bajo precio                         |

Fuente: Textisur.

Analizando la lluvia de ideas se realiza un diagrama de afinidad.

Tabla XXV. **Diagrama de afinidad**

| <b>Compra de caldera de carbón</b>                               |                                                    | <b>Instalar quemadores de gas</b>          |                                                                            |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Costo de operación bajo                                          | La biomasa es barata                               | El gas se deriva directamente del petróleo | Los quemadores de gas son una opción más rápida                            |
| Caldera eficiente                                                | Se necesita hacer cambios en un mundo que cambia   | El petróleo aumenta de precio              | Utilizar gas conlleva una moderada tasa de riesgo por explosión            |
| El carbón es barato                                              | Mejorar costos de producción                       | El gas es más barato que el bunker         | El costo de los quemadores es mucho menor a la compra de una caldera nueva |
| La generación de vapor ayuda a mantener la presión en el sistema | Disponibilidad de combustible                      | Mejorar costos de producción               |                                                                            |
| Enfoque ecológico                                                | Se dispone de un proveedor de carbón a bajo precio |                                            |                                                                            |

Fuente: elaboración propia.

La Gerencia estudió cada opción y obtuvo la siguiente matriz de costo.

Tabla XXVI. **Matriz de costo de mejora**

| Opción            | Precio aproximado (\$) | Costo de montaje aproximado (\$) |
|-------------------|------------------------|----------------------------------|
| Quemadores de gas | 30 000                 | 10 000                           |
| Caldera de carbón | 120 000                | 60 000                           |

Fuente: Textisur.

Figura 32. **Alternativas de inversión**



Fuente: elaboración propia.



### **3.2. Selección de mejor opción**

El estudio técnico sobre las opciones propuestas condujo a la compañía a inclinarse hacia la opción del montaje de una caldera de fluido térmico alimentada con carbón y biomasa, que incluye un generador de vapor de 1 TmV/Hora de capacidad. Los factores que se tomaron en cuenta para su selección se presentan a continuación:

- Costo de operación bajo en comparación al bunker
- La generación de vapor ayuda a mantener la presión en el sistema
- La biomasa es barata
- Se dispone de un proveedor de carbón a bajo precio

### **3.3. Proveedor**

El proveedor de la caldera seleccionada se llama Hebei Gold Bangzi Boiler, se dedica a la fabricación de calderas y está establecido en la República de China. El contacto con esta empresa se hizo a través de la página de compras por internet llamada Alibaba.

### **3.4. Cotización y orden de compra**

Se recibió una oferta o cotización que fue evaluada por la Gerencia General para tomar una decisión de compra. La cotización pasó al Departamento de Compras Internacionales para generar la orden de compra. Luego de que esta fue autorizada por la alta Gerencia, Compras inició con los trámites respectivos con el proveedor y con aduanas.

Para la fabricación de la caldera, el proveedor se tardó alrededor de cuatro meses. En noviembre de 2013 se embarcó la primera parte de la caldera y en diciembre se embarcó la segunda parte. Los embarques vinieron a Guatemala en diciembre y enero de 2014 respectivamente.

En las tablas siguientes se presenta un detalle de las partes arribadas:

Tabla XXVII. **Partes de caldera (primer embarque)**

| <b>Cantidad</b> | <b>Descripción</b>                                         |
|-----------------|------------------------------------------------------------|
| 3               | Motores de bombas de aceite térmico                        |
| 2               | Motores de bombas de agua                                  |
| 1               | Motor extractor de chimenea tiro forzado                   |
| 1               | Motor soplador                                             |
| 1               | Motorreductor de extractor de ceniza                       |
| 1               | Motorreductor de banda transportadora                      |
| 1               | Motorreductor de elevador de tolva de combustible          |
| 1               | Estructura de elevador de tolva de combustible             |
| 1               | Tanque de agua                                             |
| 1               | Tanque de expansión                                        |
| 1               | Tanque de aceite térmico                                   |
| 1               | Turbina y caracol para chimenea                            |
| 1               | Suavizador de agua con resina                              |
| 1               | Set de instrumentación (manómetros, termómetros y niveles) |
| 1               | Set de válvulas instalación                                |
| 1               | Extractor de ceniza                                        |
| 1               | Generador de vapor                                         |
| 1               | Tolva de combustible                                       |
| 3               | Segmentos de chimenea                                      |
| 1               | Panel de mando eléctrico                                   |
| 2               | Sensores de temperatura (PT-100) / termocoplas             |
| 3               | Segmentos de chimenea                                      |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Partes de caldera (segundo embarque)**

| <b>Cantidad</b> | <b>Descripción</b>                 |
|-----------------|------------------------------------|
| 1               | Separador ciclónico de ceniza fina |
| 1               | Intercambiador de calor            |
| 1               | Horno                              |

Fuente: elaboración propia.

### **3.5. Análisis costo-beneficio**

Es una herramienta financiera que mide la relación entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión con el fin de evaluar su rentabilidad. En este apartado se presenta una evaluación *grosso modo* de los costos y beneficios que tendrá el proyecto. Un análisis completo se realizará en el cuarto capítulo.

Los costos en los que se incurrirá en el montaje de la caldera de carbón-biomasa resultan una inversión bastante fuerte. Iniciando con la compra de la máquina, seguido por la compra de materiales, suministros y aparatos adicionales, sin olvidar algunos servicios subcontractados y la mano de obra directa. Todo esto tiene un valor aproximado de 180 000 dólares.

En cuanto a los beneficios, se resalta que la expectativa es obtener una ahorro del 70 % en comparación con la operación con bunker. De esta forma, la caldera se paga por sí misma en un periodo de tres meses. Con este breve análisis en mente se tiene la certeza que el proyecto será viable y un éxito rotundo.

### **3.6. Premontaje**

En él se describirán las actividades que se realizaron previo al arribo de las partes de la caldera. La mayoría de estas actividades fueron obras civiles. Los albañiles de la fábrica fueron los encargados de realizar estos trabajos. En la siguiente lista se describen las construcciones hechas en el premontaje.

- Base para cuerpo de caldera
- Fosa para extractor de ceniza
- Base para motorreductor de banda transportadora de combustible
- Pileta del limpiador de ceniza
- Base para motor de turbina de chimenea tiro forzado
- Base para generador de vapor
- Drenaje para pileta
- Reacondicionamiento del espacio de ubicación de caldera

Figura 33. **Base de motor de turbina de chimenea**



Fuente: Textisur.

### **3.7. Arribo y ubicación de partes**

Cuando los embarques con las partes de la caldera arribaron a la compañía, se tuvo que subcontratar el servicio de grúas para descargar las partes más grandes.

**Figura 34. Descarga del primer embarque**



Fuente: Textisur.

En el primer embarque, que arribó a finales de diciembre de 2013, se descargó, con ayuda de una grúa, la chimenea, el extractor de ceniza, el generador de vapor y los tanques. Mientras que, con ayuda de un montacargas, se descargaron las partes más pequeñas como motores y elementos complementarios de menores dimensiones y peso.

Figura 35. **Partes de caldera del primer embarque**



Fuente: Textisur.

Antes de la llegada del segundo embarque se ubicó el generador de vapor utilizando una grúa de mediana capacidad. Se armó el motor, el caracol y los mismos se ubicaron en la cimentación fabricada. También se ubicó el extractor de ceniza en la fosa de extracción. El segundo embarque se recibió a mediados del mes de enero de 2014. Con él se tuvo que utilizar nuevamente una grúa de alta capacidad para descargar las partes pesadas como el horno, el intercambiador y el separador ciclónico de ceniza. Esta misma grúa fue la que ubicó el horno y el intercambiador.

Figura 36. **Descarga del segundo embarque**



Fuente: Textisur.

Figura 37. **Ubicación del horno e intercambiador de calor**



Fuente: Textisur.

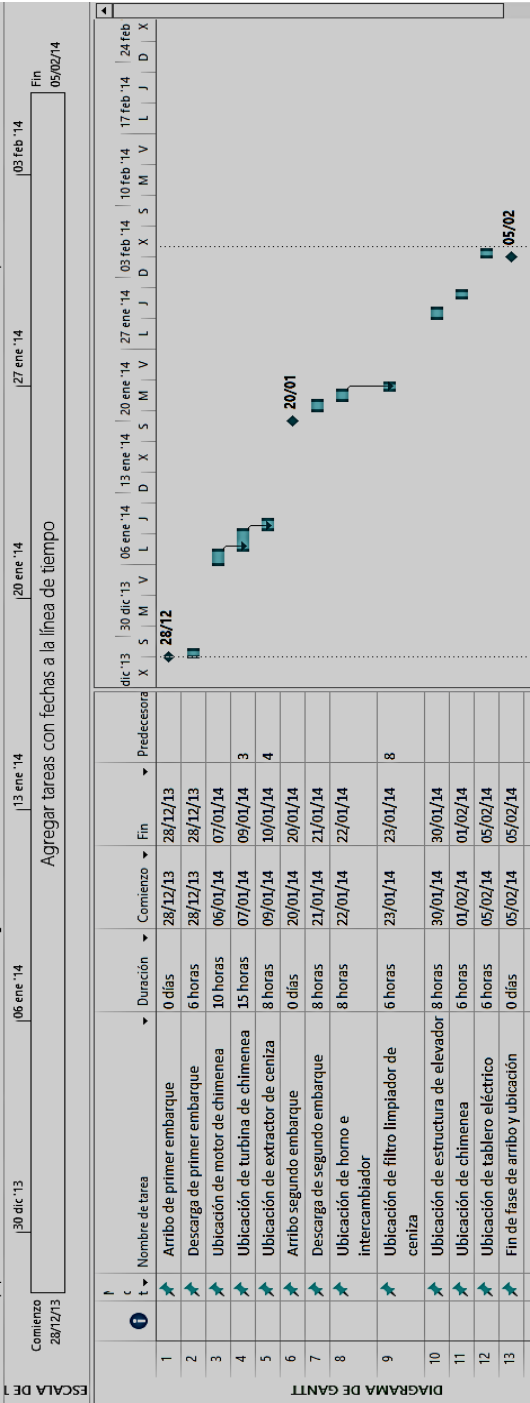
Posteriormente, se montó y unió el extractor de ceniza a la salida del horno. En seguida se ubicó el limpiador de ceniza en la pileta recolectora de ceniza. Para la ubicación de la chimenea, se requirió el servicio de grúa para elevar los segmentos de la misma y llevarlos hasta su puesto.

Figura 38. **Ubicación del separador ciclónico de ceniza**



Fuente: Textisur.

Figura 39. Cronograma de arribo y ubicación de partes



Fuente: elaboración propia.



### 3.8. Materiales y equipo utilizados

En todo montaje se debe utilizar una serie muy amplia de materiales, suministros y equipo para llevar a cabo las diferentes tareas. En la soldadura de tubos, en la acometida eléctrica, en la fijación del equipo y en otras áreas se necesita, al menos, los materiales y equipo que se describen a continuación.

#### 3.8.1. Soldadura y ferretería

En este rubro entran los electrodos, discos abrasivos, equipo de oxicorte, equipo de soldadura eléctrica o de arco, tarrajas, teflón y silicón, todos ellos empleados en el montaje del equipo.

- **Electrodo:** es una varilla metálica especialmente preparada para servir como material de aporte en los procesos de soldadura con arco. Existen dos tipos: el electrodo revestido y el electrodo desnudo. El electrodo revestido tiene un núcleo metálico revestido por varias sustancias químicas y un extremo no revestido para fijarlo al portaelectrodo. El núcleo es la parte que sirve de material de aporte, su composición varía de acuerdo a las diversas aplicaciones.

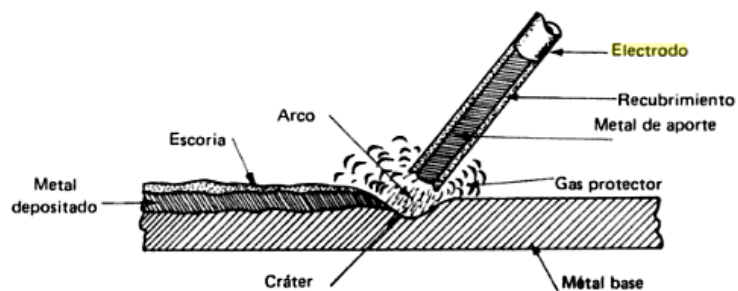
Figura 40. **Electrodo revestido**



Fuente: GAXIOLA, José María. *Curso de capacitación en soldadura*. p. 64.

El revestimiento cumple con varias funciones, entre ellas están: dirigir y estabilizar el arco, crear gases de protección para la soldadura contra el oxígeno y nitrógeno y producir escoria para generar un enfriamiento progresivo de la soldadura.

Figura 41. **Esquema del electrodo revestido**



Fuente: GAXIOLA, José María. *Curso de capacitación en soldadura*. p. 65.

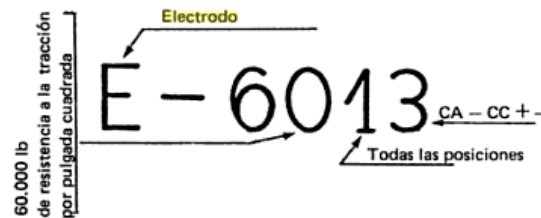
Hay tres tipos de revestimientos ampliamente usados en la soldadura de arco eléctrico. El electrodo de revestimiento básico que contiene calcio y calcita, el electrodo de revestimiento rutílico con un alto contenido de óxido de rutilo (titanio) y el electrodo de revestimiento celulósico que contiene hasta un 12 % de materia orgánica combustible. Las aplicaciones de cada uno de estos revestimientos varían de acuerdo a los metales a soldar y a las características que se le desea dar al trabajo.

El electrodo desnudo es un electrodo poco utilizado debido a que absorbe nitrógeno y oxígeno del aire.

- Denominación de los electrodos: existe una especificación o denominación para clasificar a los electrodos y consiste en una combinación de números y letras con un significado implícito. Se

utiliza una letra mayúscula en el primer término, seguida de cuatro dígitos. El prefijo E significa electrodo para soldadura eléctrica por arco. Los dos primeros dígitos representan la resistencia a la tracción que tendrá la soldadura, en condiciones ideales, dado en miles de libras por pulgada cuadrada (kpsi). Para entender mejor el concepto se presenta la siguiente figura.

Figura 42. **Nomenclatura de electrodos**



Fuente: GAXIOLA, José María. *Curso de capacitación en soldadura*. p. 68.

El tercer dígito, indica la posición a soldar:

- 1: todas las posiciones
- 2: juntas en ángulo interior, en posición horizontal o plana
- 3: posición plana únicamente

Los últimos dos dígitos se leen en conjunto e indican tanto la clase de revestimiento como el tipo de corriente a utilizar:

- 10.CC (+): revestimiento celulósico
- 11.CC (+): revestimiento celulósico
- 12.CC o CA (-): revestimiento con rútilo

- 13.CA o CC (+-): revestimiento con rútilo y hierro en polvo (30 % aproximadamente)
  - 16.CC (+): bajo tenor de hidrógeno
  - 18.CC o CA (+-): revestimiento con bajo contenido de hidrógeno y con hierro en polvo
  - 20.CC o CA (+-): revestimiento con bajo contenido de hidrógeno y con hierro en polvo (25 % aproximadamente)
  - 24.CC o CA (+-): con rutilo y hierro en polvo (aproximadamente 50 % de hierro)
- Electrodo empleados en el montaje: en el montaje de la caldera se utilizaron de tres a cuatro tipos de electrodo, todos para soldadura en acero al carbono y baja aleación. Los mismos se mencionan a continuación:
- E-6013 1/8" y E-6013 3/32": para presentación o acabado de soldadura
  - E-7018 1/8": para penetración o llenado
  - E-6011 1/8": para crear cordones de raíz
- Equipo de soldadura de arco eléctrico: la máquina para soldar fue el equipo más empleado en todo el montaje de tubería, ya que por medio de ella se unieron los segmentos de cañería. El principio de funcionamiento es que la máquina genera una corriente eléctrica (que puede ser alterna o continua) que forma un arco eléctrico entre el metal a soldar y el electrodo utilizado, produciendo la fusión de este último y su depósito sobre la unión soldada genera los cordones de soldadura.

- Equipo de protección y normas de seguridad al soldar: en todo proceso de soldadura el operador debe utilizar el siguiente equipo de protección, con el objetivo de evitar lesiones, quemaduras y accidentes en el lugar de trabajo:
  - Mascara de soldar (careta) con vidrios de protección
  - Guantes de cuero, gorro y delantal de cuero
  - Polainas y casaca de cuero
  - Zapatos de seguridad

Figura 43. **Equipo de protección para soldar**



Fuente: INDURA. *Manual de sistemas y materiales de soldadura*. p. 5.

Después de tener el equipo de protección y antes de usar la máquina de soldar al arco, deben guardarse ciertas precauciones, conocer su operación y manejo, como los accesorios y herramientas adecuadas:

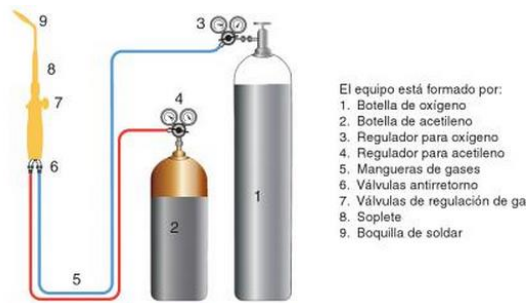
- No instalar o poner el equipo cerca o sobre superficies combustibles o atmósferas inflamables.
- No sobrecargar el cableado de la instalación eléctrica.

- Respetar el ciclo de trabajo que requiere el equipo para permitir su periodo de enfriamiento.
- Recordar que el periodo de trabajo continuo del equipo depende del amperaje utilizado.
- Revisar cuidadosamente el automático y el circuito de alimentación.
- Cubrir los bornes de la máquina de soldar.
- Asegurarse que el cable de soldadura posea la sección y las características necesarias para conducir la corriente que se requiere, no utilizar cables en mal estado o cables inadecuados.
- Desconectar la energía eléctrica cuando se realice la conexión del enchufe del equipo a la fuente de energía.

Otros factores que se deben considerar son las condiciones ambientales:

- Riesgo de incendio
  - Ventilación
  - Humedad
- Equipo de oxi-corte: este se utiliza para realizar cortes en metales con una fuente de calor generada mediante la combustión de acetileno y oxígeno. Las partes del equipo de soldadura y corte oxiacetilénico se presentan en la siguiente figura.

Figura 44. **Equipo de soldadura oxiacetilénica y oxi-corte**



Fuente: DOMINGUEZ, Esteban; FERRER, Julián. *Soldadura blanda y oxiacetilénica*. p. 224.

En el montaje de la caldera de carbón-biomasa se utilizó mucho para la fabricación de las bridas y en el seccionamiento de la tubería de aceite térmico.

- Discos abrasivos: para realizar cortes en los metales o para pulir la superficie de los mismos es necesario emplear un abrasivo, el cual está formado por una sustancia de elevada dureza. Entre los abrasivos se encuentra el óxido de aluminio, la arena, el carburo de silicio, el nitrato de boro cúbico y el diamante.

Figura 45. **Discos abrasivos**



Fuente: *Discos de corte*. <http://www.3mindustrial.cl/>. Consulta: 2 de abril de 2015.

- Terraaja de roscar: muchas veces hace falta unir segmentos de tubos de forma roscada, pero los mismos carecen del roscado, las terrajas se utilizan para esta tarea. En el montaje de la caldera se emplearon estas herramientas manuales para hacer rosca a la cañería de alimentación de agua. En la figura 46 se muestra un set de terrajas de rosca NPT (rosca americana para tubos).

Figura 46. **Set de terrajas**



Fuente: *Roscado de cañerías*. [www.gyvarriendos.cl](http://www.gyvarriendos.cl). Consulta: 2 de abril de 2015.

- Rollos de teflón: debido al mecanismo de estanqueidad de las roscas NPT, es frecuente la aplicación de algún tipo de material de sellado que, además, permite proteger de la corrosión el fileteado. Este material frecuentemente es el teflón en rollo cuyas propiedades evitan la el ingreso de aire a la tubería. En el montaje se emplearon rollos de teflón en medidas de 3/4" y de 1".



Figura 47. **Rollo de teflón**



Fuente: *Rollo de teflón*. <http://www.twenga.es/rollo-de-teflon.html>. Consulta: 3 de abril de 2015.

- **Silicón rojo:** este material fue muy utilizado en el montaje de la tubería de aceite térmico, para hacer el sellado en juntas mecánicas, como bridas con empaque y compuertas. Tiene como principales características que cura al exponerse a la humedad del aire y que resiste las altas temperaturas.

Figura 48. **Pomo de silicón rojo**



Fuente: *Loctite, Silicon Rojo RTV*. <http://tcielsalvador.com/>. Consulta: 3 de abril de 2015.

### 3.8.2. Acometida eléctrica

Comprende todos los materiales, suministros y equipos requeridos para conectar eléctricamente el sistema de la caldera de carbón-biomasa. El panel principal de la máquina venía ensamblado, por lo tanto, la mayor parte de la acometida eléctrica se enfocó en el cableado y energización de los diferentes elementos y subsistemas de la caldera.

- Cable eléctrico: también llamado conductor, generalmente está recubierto de un material aislante o protector, es el encargado de energizar los elementos eléctricos. Comúnmente el conductor se fabrica de cobre debido a su excelente capacidad de transmitir la energía eléctrica, pero también se producen de aluminio, cuya ventaja es su costo y su desventaja es una menor conductividad eléctrica.

Figura 49. **Cable eléctrico**



Fuente: *Cables y accesorios*. <http://www.steren.com.gt/>. Consulta: 3 de abril de 2015.

- Tipos de cable y calibre: en la industria se emplean diferentes tipos y calibres en función de la carga de intensidad o corriente del dispositivo eléctrico a energizar. La AWG (American Wire Gauge), calibre de alambre estadounidense, es la norma más empleada en

el país, es una referencia de clasificación de diámetros. Cuanto más alto es este número, más delgado es el alambre. El alambre de mayor grosor (AWG más bajo) es menos susceptible a la interferencia, posee menos resistencia interna y, por lo tanto, soporta mayores corrientes a distancias más grandes. Para calibres de cables superiores a 4/0 la nomenclatura cambia a MCM (miles de circular *mils*), empezando en MCM 250 y subiendo en 50 hasta llegar a 1 000, un MCM 1 000 es un cable con un diámetro de 1". Para diámetros de cables muy pequeños se emplea el sistema métrico.

En la tabla XXIX se presentan los tipos de cables y su aplicación en el montaje de la caldera de carbón-biomasa.

Tabla XXIX. **Cable utilizado en montaje**

| <b>Cantidad</b> | <b>Tipo de Cable</b>                          | <b>Aplicación</b>                       |
|-----------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 105 m           | MCM 250 (4 líneas: 1 tierra y 3 alimentación) | Alimentación principal                  |
| 162 m           | AWG 6 (7 líneas: 1 tierra y 6 alimentación)   | Motores de bombas de aceite térmico (3) |
| 218 m           | AWG 6 (7 líneas: 1 tierra y 6 alimentación)   | Motor de turbina                        |
| 120 m           | AWG 10 (7 líneas: 1 tierra y 6 alimentación)  | Motor soplador                          |
| 38 m            | TSJ AWG 4*12                                  | Motores de bombas de agua (2)           |
| 9 m             | TSJ AWG 4*14                                  | Motor de tolva                          |
| 14 m            | TSJ AWG 4*14                                  | Motor de banda transportadora           |
| 22 m            | TSJ AWG 4*14                                  | Motor de extractor de ceniza            |

Fuente: elaboración propia.

- Conducto eléctrico: se emplea para proteger los cables de la acometida del ambiente y condiciones de trabajo. Otra función de los tubos o conductos es dar dirección a la acometida. El conducto eléctrico puede estar hecho de metal o plástico. Para el caso del montaje de la caldera, se emplearon tubos de hierro galvanizado (HG) y tubos de policloruro de vinilo (PVC). En las siguientes tablas se muestra la cantidad de conductos utilizados, aplicación y diámetros.

Tabla XXX. **Conducto HG utilizado**

| Cantidad | Tamaño de tubo | Aplicación                                                  |
|----------|----------------|-------------------------------------------------------------|
| 11 m     | Tubo HG 1"     | Acometida motor de banda transportadora y elevador de tolva |
| 12 m     | Tubo HG 1 1/4" | Acometida de motor de turbina                               |
| 16 m     | Tubo HG 2"     | Acometida motor turbina y bombas de aceite térmico          |
| 12 m     | Tubo HG 2 1/2" | Acometida alimentación principal                            |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Conducto PVC utilizado**

| Cantidad | Tamaño de tubo | Aplicación                                    |
|----------|----------------|-----------------------------------------------|
| 5 m      | Tubo PVC 1"    | Acometida variador de "Blower"                |
| 4 m      | Tubo 1 1/2"    | Acometida variador de bomba de aceite térmico |

Fuente: elaboración propia.

Se emplearon también tubos flexibles para ciertas aplicaciones especiales: por ejemplo conexión final a motores.

- Coplas eléctricas: se emplean para unir dos tubos, los conductos PVC se unen por coplas a presión; por su parte, los conductos HG lo hacen a través de coplas roscadas.
- Vueltas eléctricas: su función es la de cambiar la dirección de los conductos en ángulos rectos.
- Abrazaderas: para fijar y sostener los conductos a las paredes se emplean abrazaderas. Existen dos tipos básicos de abrazaderas: *hanger* y tipo uña. En la acometida eléctrica se utilizaron abrazaderas para fijar los tubos PVC a la pared.
- Canaletas: son un tipo de conducto eléctrico de forma rectangular hecho de metal, por lo general se utilizan para llevar o conducir muchas líneas o cables de calibres bastante gruesos. En el montaje de la caldera se emplearon canaletas en la acometida del panel principal a los motores de las bombas de aceite térmico y en parte de la conexión al motor soplador.
- Cintas aislantes: es un tipo de cinta adhesiva de presión usada principalmente para aislar empalmes de hilos y cables eléctricos. Este tipo de cinta es capaz de resistir condiciones de temperaturas extremas, corrosión, humedad y altos voltajes. La cinta está fabricada en PVC delgado. El PVC es un excelente aislante eléctrico.
- Variadores o inversores de frecuencia: los motores eléctricos regularmente no tienen más que una velocidad de rotación. En las aplicaciones

industriales es necesario que los motores trabajen a velocidades que puedan ser variables. Para ello, un inversor de frecuencia permite modificar el valor de la frecuencia para hacer que el motor que controla gire a más o menos velocidad, independientemente de la frecuencia de la red.

Figura 50. **Variador de frecuencia**



Fuente: *Variadores de velocidad*. [www.motorex.com.pe](http://www.motorex.com.pe). Consulta: 8 de abril de 2015.

Para la caldera de carbón fue necesario adaptar tres variadores. La razón es que por los continuos arranques y paros que la caldera realiza como parte de su operación, es conveniente tener arranques suaves, sobre todo en los motores grandes. Los detalles de los variadores se muestran a continuación.

Tabla XXXII. **Variadores de frecuencia instalados**

| Cantidad | Marca / Modelo  | Características          | Ubicación                          |
|----------|-----------------|--------------------------|------------------------------------|
| 1        | Delta C2000     | 480V 60Hz 101 A<br>60 HP | Motor extractor de chimenea        |
| 1        | Mitsubishi F700 | 480V 60Hz<br>100 HP      | Motor soplador                     |
| 1        | Mitsubishi D700 | 480V 60Hz<br>700 HP      | Motor de bomba de aceite térmico 1 |

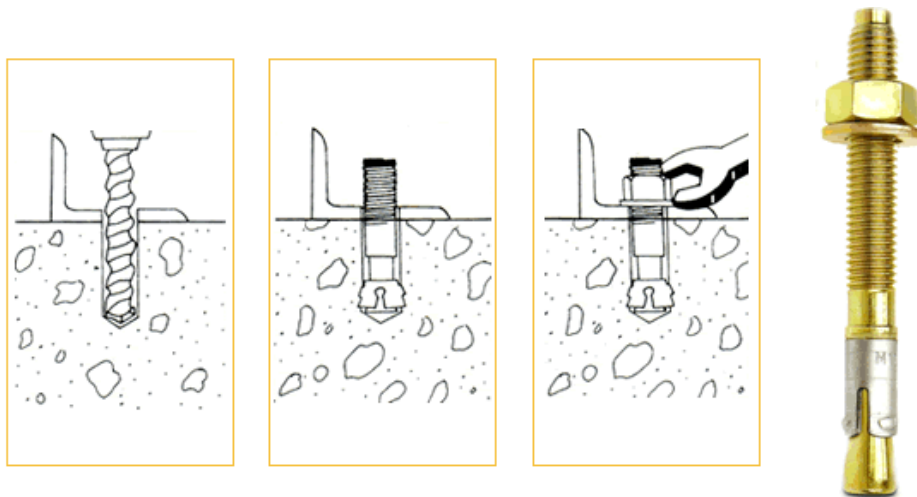
Fuente: elaboración propia.

### 3.8.3. Fijaciones

La fijación en el montaje de equipos es un aspecto de especial atención. Una buena fijación de los elementos mecánicos, motores por ejemplo, garantiza que el nivel de vibración sea mínimo. La vibración es el movimiento de un cuerpo que oscila alrededor de una posición de equilibrio. Algunas de las consecuencias de las vibraciones en máquinas y estructuras son aumento de esfuerzos y tensiones, desgaste de materiales, daños por fatiga y ruidos.

Para fijar los elementos mecánicos en el montaje de la caldera se emplearon pernos de fijación.

Figura 51. Perno de fijación o anclaje



Fuente: *Pernos de expansión*. [www.facomet.cl](http://www.facomet.cl). Consulta: 8 de abril de 2015.

Los pernos de fijación o anclaje son un tipo especial de tornillos, para utilizarlos primero se debe perforar un agujero en el concreto del diámetro del perno, se puede emplear un barreno tipo *hitting* para hacer más fácil esta tarea.

Posteriormente, se introduce en el perno al agujero a presión, empleando para ello un martillo. La tuerca que trae el perno es la que crea la fijación en los pernos, la misma debe atornillarse hasta el máximo para generar una mejor sujeción.

Los elementos a fijar en el montaje de la caldera son los motores de bombas, el motor de la turbina de extracción de tiro forzado, el motorreductor de banda transportadora, la estructura para la tolva de combustible, la turbina, la chimenea y los cargadores de la tubería.

En la tabla XXXIII se describen las medidas de pernos de fijación utilizadas para cada elemento.

Tabla XXXIII. **Pernos de fijación empleados en el montaje**

| <b>Elemento</b>                                   | <b>Cantidad empleada</b> | <b>Medida de perno</b> |
|---------------------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Motores de bombas aceite térmico                  | 6                        | 3/4" x 5"              |
| Motor de la turbina de extracción de tiro forzado | 6                        | 3/4" x 5"              |
| Motorreductor de banda transportadora             | 4                        | 5/8" x 5"              |
| Estructura para la tolva de combustible           | 2                        | 5/8" x 5"              |
| Estructura para la tolva de combustible           | 2                        | 1/2" x 4"              |
| Base de turbina                                   | 4                        | 3/4" x 5"              |
| Chimenea                                          | 4                        | 5/8" x 5"              |
| Cargadores de tubería aceite térmico              | 10                       | 1/2" x 4"              |
| Base de motor soplador <i>blower</i>              | 2                        | 1/2" x 4"              |
| Tablero eléctrico                                 | 4                        | 3/8" x 4"              |

Fuente: elaboración propia.

En la figura 52 se muestran dos partes de la caldera fijadas con pernos de anclaje, la estructura del elevador de ceniza y el motorreductor de la banda.



Figura 52. **Ejemplos de pernos de anclaje**



Fuente: Textisur.

#### **3.8.4. Tubería de aceite térmico**

El aceite térmico es un “fluido caloportador cuyo uso es generalizado en el sector industrial como medio de transporte de calor para distintos tipos de procesos. Existen multitud de tipos de aceites térmicos cuya selección se realiza en función de los parámetros de operación a los que debe ser expuesto, principalmente la temperatura.” <sup>7</sup> En las calderas el aceite es calentado y es él quien transmite el calor a las máquinas que lo requieren en los procesos productivos.

La tubería de aceite térmico de la caldera es una de las partes del montaje que más tiempo necesitó para su conclusión, porque debió hacerse una modificación a la tubería anterior para hacer la interconexión. Los materiales utilizados aquí son tubos de hierro negro soldable (HN), válvulas de compuerta, codos, bridas, reductores. A continuación se describirá cada uno de estos elementos, para luego detallar la cantidad utilizada de cada material en el montaje.

---

<sup>7</sup> INNERGY ENGINEERING. *Aceite térmico*.  
<http://innergy-engineering.com/soluciones/generacion-y-aplicacion-de-calor/aceite>  
Consulta: enero de 2015.

- Tubos de hierro negro (HN): son tubos fabricados de hierro negro, el espesor de estos lo hace ideal para transportar fluidos calientes y a elevadas presiones. Los tubos de HN cédula 40 se usaron de la siguiente forma:

Tabla XXXIV. **Tubería de aceite térmico**

| <b>Cantidad</b> | <b>Medida de tubo</b> | <b>Aplicación</b>                              |
|-----------------|-----------------------|------------------------------------------------|
| 6               | Tubo HN de 8"         | Tubería principal                              |
| 2               | Tubo HN de 4"         | Tubería de bombas aceite térmico (salida)      |
| 2               | Tubo HN de 5"         | Tubería de bombas de aceite térmico (admisión) |

Fuente: elaboración propia.

- Válvulas de compuerta: es una válvula que abre mediante el levantamiento de una compuerta o cuchilla (la cual, puede ser redonda o rectangular) permitiendo así el paso del fluido a altas presiones. En la red de tubería de aceite térmico se montaron las siguientes válvulas de compuerta:

Tabla XXXV. **Válvulas de compuerta**

| <b>Cantidad</b> | <b>Descripción</b>      | <b>Aplicación</b>                    |
|-----------------|-------------------------|--------------------------------------|
| 3               | Válvula de compuerta 5" | Admisión de bombas de aceite térmico |
| 3               | Válvula de compuerta 4" | Salida de bombas de aceite térmico   |
| 2               | Válvula de compuerta 1" | Drenaje de aceite térmico            |
| 2               | Válvula de compuerta 1" | Venteo de aire                       |

Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **Válvulas de compuerta**



Fuente: Textisur.

- Bridas: son elementos que se utilizan en las tuberías para crear uniones entre elementos y segmentos desmontables de tubería. Se emplean tornillos y empaques para hacer el sello y unión entre las tuberías. En el montaje de la caldera se emplearon para unir las válvulas, las bombas, la salida, la entrada de la caldera y el filtro a la red.

Figura 54. **Codos y bridas empleados**



Fuente: Textisur.

- Reducidores: cuando se pasa de un diámetro de tubería a otro es preciso usar reducidos de tubería. Como la caldera traía estándares internacionales no acordes a los empleados en el país, se requirió hacer algunas reducciones para ajustar la tubería. En la tubería de aceite térmico se montaron los reducidos descritos en la tabla XXXVI.

Tabla XXXVI. **Reducidos usados en tubería aceite térmico**

| <b>Cantidad</b> | <b>Descripción</b>  | <b>Aplicación</b>                 |
|-----------------|---------------------|-----------------------------------|
| 3               | Reductor de 8" a 5" | Admisión de bombas aceite térmico |
| 3               | Reductor de 8" a 4" | Salida de bombas aceite térmico   |

Fuente: elaboración propia.

En la imagen se aprecia las reducciones utilizadas para el montaje de las bombas de aceite térmico.

Figura 55. **Reducidos en tubería**



Fuente: Textisur.

- Otros elementos de la red: los otros elementos que se emplearon para la fabricación de la red de tubería de aceite térmico son codos o vueltas de hierro negro a 90° y a 45°, filtros y tees. Estos elementos son soldables y representan una gran parte de la carga de trabajo del área de soldadura.

En la siguiente tabla se muestran la cantidad y aplicación de estos elementos:

Tabla XXXVII. **Otros elementos de tubería de aceite térmico**

| <b>Cantidad</b> | <b>Descripción</b> |
|-----------------|--------------------|
| 10              | Codo HN 8" a 90°   |
| 7               | Codo HN 8" a 45°   |
| 3               | Codo HN 5" a 90°   |
| 3               | Tee de HN 8"       |
| 4               | Bridas 8"          |
| 9               | Bridas 5"          |
| 9               | Bridas 4"          |

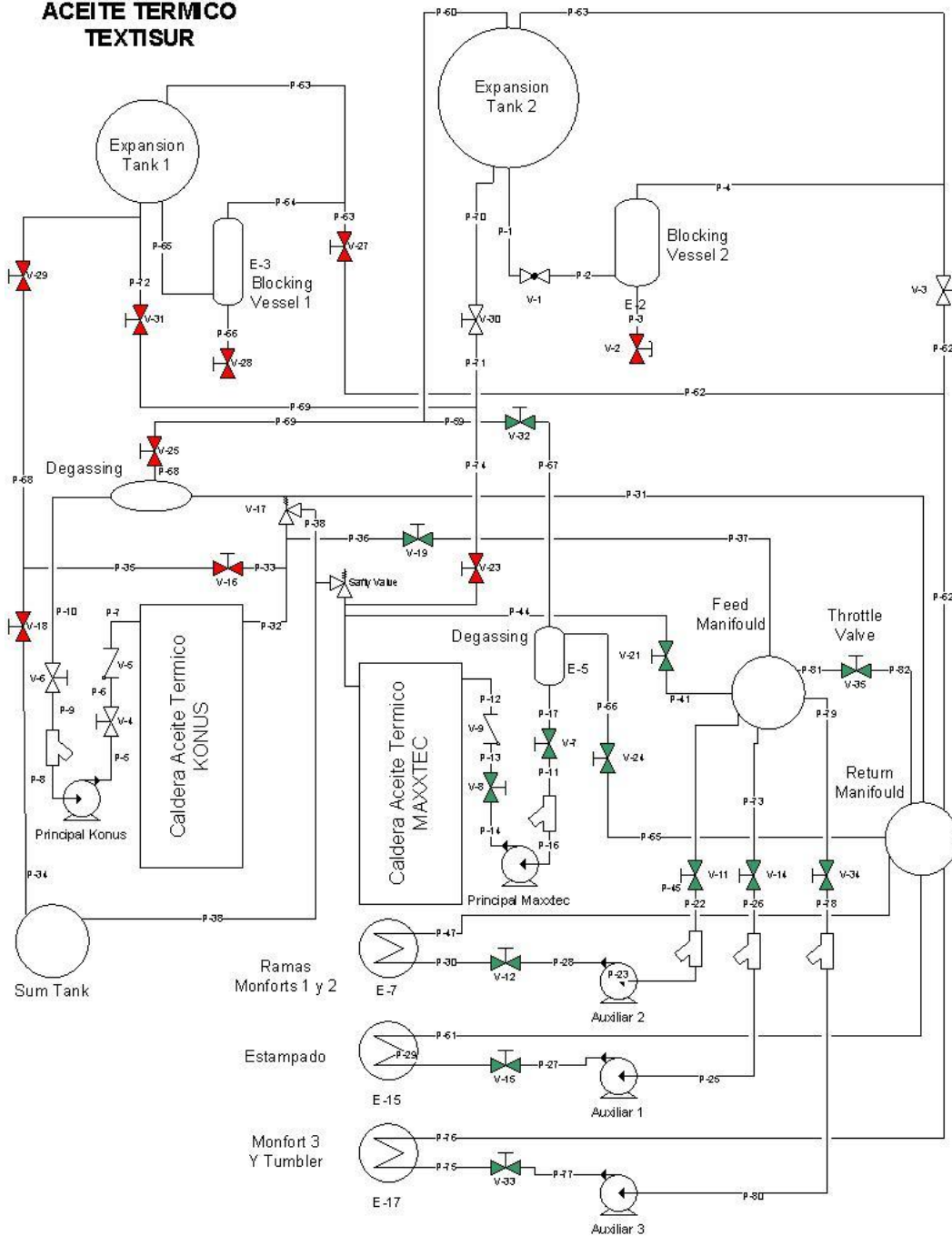
Fuente: elaboración propia.

- Modificación a la red anterior de tubería de aceite térmico: la red de tubería de aceite térmico para las calderas de bunker sufrió algunos cambios cuando se comenzó en el montaje de la caldera de carbón-biomasa. Estos cambios se realizaron con el fin de disminuir la cantidad de bombas de circulación de aceite y pasar de cuatro bombas a utilizar solamente dos con la nueva caldera. Esto es un gran ahorro desde el punto de vista de costo de electricidad.

En el diagrama del sistema térmico se muestran los cambios realizados.

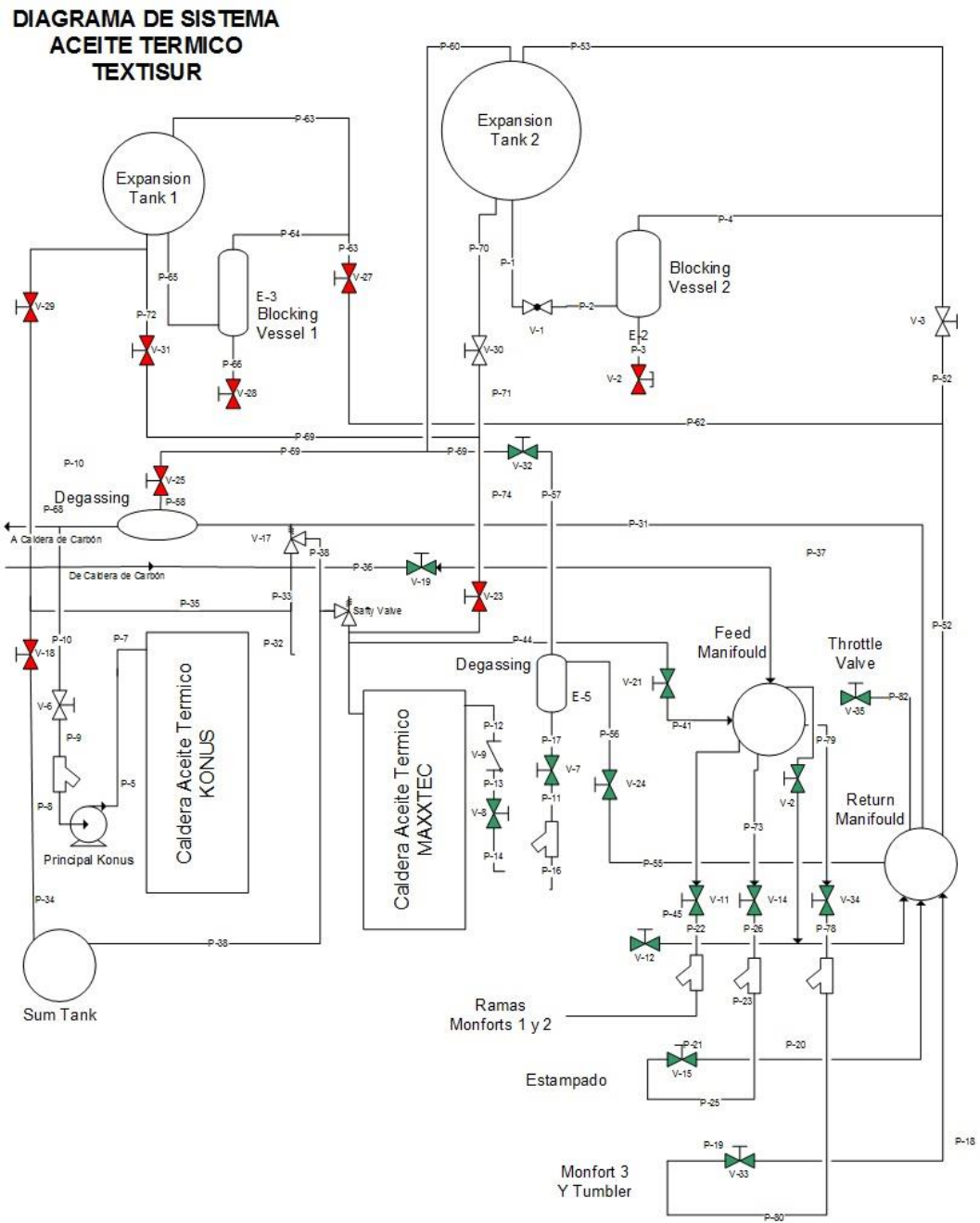
Figura 56. Antes del montaje de la caldera de carbón

**DIAGRAMA DE SISTEMA  
ACEITE TERMICO  
TEXTISUR**



Fuente: Textisur.

Figura 57. Después del montaje de la caldera de carbón



Fuente: Textisur.

### 3.8.5. Tubería de agua

En el montaje del generador de vapor se requirió la instalación de un pequeño circuito de agua. En esta parte se utilizaron los siguientes materiales y elementos:

Tabla XXXVIII. Elementos de instalación de tubería de agua

| Bomba de agua 1 |                                                |
|-----------------|------------------------------------------------|
| Cantidad        | Descripción                                    |
| 2               | Brida 1 1/2" (4 agujeros)                      |
| 2               | Codo 1 1/2" HG 90°                             |
| 1               | Codo 1 1/2" HN 90° (soldable)                  |
| 1               | Filtro 1 1/2"                                  |
| 2               | Niple 1 1/2" x 4"                              |
| 2               | Niple corrido HG 1 1/2"                        |
| 1               | Reductor 2" a 1 1/2" HG (tipo <i>bushing</i> ) |
| 5               | Metros tubería 1 1/2" HG                       |
| 2               | Unión universal 1 1/2"                         |
| 1               | Válvula cheque 1 ½ "                           |
| 2               | Válvula de compuerta 1 1/2"                    |
| 1               | Válvula de globo 1 1/2"                        |
| Bomba de agua 2 |                                                |
| 2               | Brida 1 1/2" (4 agujeros)                      |
| 1               | Codo 1 1/2" HN 90° (soldable)                  |
| 3               | Codo 1 1/2" HG 90°                             |
| 1               | Filtro 1 1/2"                                  |
| 5               | Niple 1 1/2" x 4"                              |
| 1               | Niple corrido 1 1/2"                           |
| 1               | Reductor 2" a 1 1/2" HG (tipo <i>bushing</i> ) |
| 2               | Metros tubería 1 1/2" HG                       |
| 2               | Unión universal 1 1/2"                         |
| 2               | Válvula de compuerta 1 1/2"                    |
| 3               | Brida 1 1/2" (4 agujeros)                      |
| 1               | Tee 1 1/2" HN (soldable)                       |

Fuente: elaboración propia.



- Válvulas cheque: son un tipo especial de válvula que hace posible que el fluido viaje en una sola dirección y no tienda a regresar por donde vino. Se emplean en todas las instalaciones con fluidos líquidos y gaseosos.
- Válvula de bola: conocida también como de esfera, es un mecanismo de llave de paso que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado y se caracteriza porque el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera perforada. Se utiliza en donde la presión de agua o vapor es baja.
- Uniones universales: junto con las uniones soldadas y de bridas, es otro tipo de mecanismo muy empleado para unir tubería de hierro. La condición para hacer la unión es que las puntas de los tubos deben tener rosca NPT.

### 3.8.6. Tubería de vapor

Para la tubería de vapor se usaron los siguientes materiales:

Tabla XXXIX. Elementos de instalación de tubería de vapor

| Drenaje generador de vapor   |                                     |
|------------------------------|-------------------------------------|
| Cantidad                     | Descripción                         |
| 3                            | Brida 2" (4 agujeros)               |
| 3                            | Codo 2" HG                          |
| 12                           | Metros de tubería 2" HG             |
| 2                            | Válvula de bola 2"                  |
| Salida de generador de vapor |                                     |
| Cantidad                     | Descripción                         |
| 2                            | Brida 3" (4 agujeros)               |
| 1                            | Brida 3" (8 agujeros)               |
| 5                            | Codo 3" HN (soldable)               |
| 1                            | Reducidor 6" a 3" HG (tipo campana) |
| 26                           | Metros de tubería 3" HG             |

Continuación de la tabla XXXIX.

|                                                 |                                            |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1                                               | Válvula de compuerta 3"                    |
| 1                                               | Válvula de globo 1 1/2"                    |
| 1                                               | Válvula de globo 3"                        |
| 2                                               | Válvula de seguridad 1 1/2"                |
| <b>Salida de vapor de <i>manifould</i></b>      |                                            |
| <b>Cantidad</b>                                 | <b>Descripción</b>                         |
| 2                                               | Bridas 3" (4 agujeros)                     |
| 2                                               | Codo 3" HN (soldable)                      |
| 1                                               | Reducidor 6" a 3" (tipo campana)           |
| 6                                               | Metros de tubería 3" HG                    |
| 1                                               | Válvula de bola 3"                         |
| 1                                               | Válvula de seguridad 2"                    |
| <b>Salida de condensado de <i>manifould</i></b> |                                            |
| <b>Cantidad</b>                                 | <b>Descripción</b>                         |
| 5                                               | Codo 1" HG                                 |
| 1                                               | Niple 1" x 5"                              |
| 1                                               | Niple 1" x 6"                              |
| 2                                               | Niple corrido 1/2"                         |
| 1                                               | Reducidor 1" a 1/2" (tipo <i>bushing</i> ) |
| 1                                               | Reducidor 1" a 1/2" (tipo campana)         |
| 1                                               | Trampa de vapor de flotador raíz 1/2"      |
| 6                                               | Metros de tubería 1" HG                    |
| 1                                               | Válvula de bola 1"                         |

Fuente: elaboración propia.

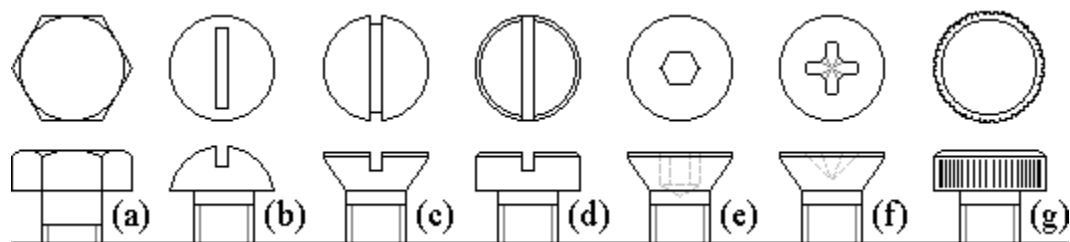
### 3.8.7. Tornillería

Los tornillos son elementos mecánicos que se emplean en la fijación temporal de una pieza con otra. Se puede emplear solo el tornillo o también la combinación tornillo-tuerca para crear la unión.

Hay varios tipos de cabezas de tornillos, entre las más empleadas está la hexagonal, la avellanada y la Allen, entre otras. En la figura 58 se observan los tipos de cabeza de tornillo (hexagonal (a), redonda o alomada (b), cilíndrica (d,

g), avellanada (c, e, f); combinadas con distintos sistemas de apriete: hexagonal (a) o cuadrada para llave inglesa, ranura o entalla (b, c, d) y Phillips (f) para destornillador, agujero hexagonal (e) para llave Allen, moleteado (g) para apriete manual).

Figura 58. Tipos de cabeza de tornillo



Fuente: Cabezas. <http://es.wikipedia.org/wiki/Tornillo>. Consulta: 10 de abril de 2015.

Para designar un tornillo, por lo general se deben incluir los siguientes datos: tipo de tornillo según la forma de su cabeza, designación de la rosca, longitud y norma que lo define. Se pueden añadir datos característicos de resistencia del material, precisión, entre otros.

Ejemplo: tornillo hexagonal M20 x 2 x 60 x To DIN 960. Mg 8,8

Analizando cada elemento:

- Denominación o nombre: tornillo hexagonal
- Designación de la rosca: M20 x 2
- Longitud del vástago: 60
- To: cabezas in saliente en forma de plato
- Norma que especifica la forma y característica del tornillo: DIN 960

- m.g: ejecución y precisión de medidas
- 8,8: clase de resistencia o características mecánicas

Para designar a las roscas se identifican los principales elementos que intervienen en la fabricación de una rosca, se hace por medio de su letra representativa e identificando la dimensión del diámetro exterior y el paso. En la rosca métrica el paso se da en milímetros mientras que en la rosca unificada y Whitworth se indica a través de la cantidad de hilos existentes dentro de una pulgada.

Por ejemplo, la rosca M 3,5 x 0,6 indica una rosca métrica normal de 3,5 mm de diámetro exterior con un paso de 0,6 mm. La rosca W 3/4" – 10 indica una rosca Whitworth normal de 3/4 pulgadas de diámetro exterior y 10 hilos por pulgada.

Para el caso de la rosca unificada, la designación se hace de una forma distinta, por ejemplo se presenta la siguiente nomenclatura:

1/2 - 12 UNC – 3B – LH

Examinando cada elemento se tiene:

- 1/2: de pulgada es el diámetro nominal de la rosca
- 12: hilos por pulgada
- UNC: rosca unificada, serie de rosca gruesa
- 3B: el 3 indica el ajuste (relación entre una rosca interna y una externa cuando se arman); B indica una rosca interna. Una A indica una rosca externa.

- LH: indica que la rosca es izquierda. Nota: cuando no aparece indicación alguna se supone que la rosca es derecha.

En la tabla XL se entrega información para conocer el tipo de rosca en función de su letra característica, se presentan las más empleadas en la ingeniería mecánica.

Tabla XL.      **Símbolos de roscas**

| <b>Roscados más comunes</b>                          | <b>Denominación usual</b> |
|------------------------------------------------------|---------------------------|
| American Petroleum Institute                         | API                       |
| British Association                                  | BA                        |
| International Standards Organization                 | ISO                       |
| Rosca Edison                                         | E                         |
| Rosca de filetes redondos                            | Rd                        |
| Rosca de filetes trapezoidales                       | Tr                        |
| Rosca para tubos blindados                           | PG, Pr                    |
| Rosca Whitworth                                      | BSW, W                    |
| Rosca Whitworth de paso fino                         | BSF                       |
| Rosca Whitworth cilíndrica para tubos                | BSPT, KR                  |
| Rosca Métrica paso normal                            | M, SI                     |
| Rosca Métrica paso fino                              | M, SIF                    |
| Rosca Americana Unificada p. normal                  | UNC, NC USS               |
| Rosca Americana Unificada p. fino                    | UNF, NF, SAF              |
| Rosca Americana Unificada p. extrafino               | UNEF, NEF                 |
| Rosca Americana Cilíndrica para tubos                | NPS                       |
| Rosca Americana Cónica para tubos                    | NPT, ASTP                 |
| Rosca Americana paso especial                        | UNS, NS                   |
| Rosca Americana Cilíndrica <i>dryseal</i> para tubos | NPSF                      |
| Rosca Americana Cónica <i>dryseal</i> para tubos     | NPTF                      |

Fuente: Fiusac. *Proyecto de elementos de máquinas elementos roscados*. p. 5.

En Guatemala se emplean ampliamente tanto los tornillos de rosca americana o unificada, como tornillos de rosca métrica.

Los tornillos se emplean en todo montaje y en el caso de la caldera de carbón-biomasa, los mismos fueron utilizados de la siguiente manera.

Tabla XLI. **Tornillería utilizada en montaje**

| <b>Cantidad</b> | <b>Designación</b> | <b>Aplicación</b>                           |
|-----------------|--------------------|---------------------------------------------|
| 76 unidades     | 5/8" x 3"          | Bridas de generador de vapor                |
| 144 unidades    | 5/8" x 3"          | Bridas de válvulas de bombas aceite térmico |
| 48 unidades     | 3/4" x 4"          | Tubería principal de aceite térmico         |

Fuente: elaboración propia.

### **3.8.8. Cemento refractario**

Es una mezcla de materiales refractarios, arcilla, cuarcita, magnesita, entre otros, crudos o calcinados, a los cuales se les agrega materiales clasificados como no refractarios, para aumentar su plasticidad, facilitando el fraguado.

En el montaje de la caldera se tuvo que aplicar una gruesa capa de cemento refractario para que se garantizara el aislamiento térmico entre las paredes internas del hogar de la caldera y el ambiente, contribuyendo así a aumentar la eficiencia de la máquina.

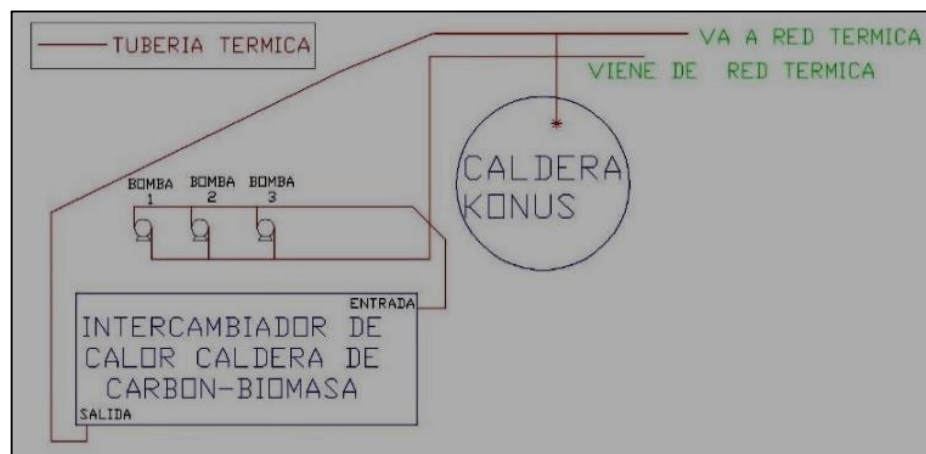
Se aplicaron veinte sacos de cemento refractario antes del arranque al horno.

### 3.9. Montaje de tubería

- Aceite térmico

El primer paso para el montaje de la tubería de aceite térmico fue trazar la ruta que tendría el circuito. El mismo se presenta a continuación:

Figura 59. Esquema de ruta de aceite térmico



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Teniendo esto, la Gerencia de Mantenimiento ordena que se fabriquen los segmentos de tubos según diámetros y medidas requeridas. Los tubos son cortados con ayuda de la amoladora o pulidora y los discos abrasivos de corte. En los tubos se hacen los biseles para que la soldadura que se aplique sea lo más resistente posible. En los trabajos de montaje de tubería se usó mano de obra de la empresa.

Figura 60. **Tubos usados en red de aceite térmico**



Fuente: Textisur.

Debido que las los diseños de las bridas de la entrada y salida de la caldera no estaban acorde a los estándares manejados en Guatemala se tuvo que fabricar bridas a la medida. Se cortaron aros de planchas de hierro con diámetro interior y exterior aproximados y en el torno se rectificaron a la medida deseada. El primer elemento ensamblado de la tubería fue la brida de la parte superior o salida de la caldera, este segmento consta de una brida, un codo a 90°, un segmento de tubo y otro codo a 90°.

Figura 61. **Primer segmento ensamblado de tubería aceite térmico**



Fuente: Textisur.



Luego de colocar el primer segmento se siguió soldando tubos de 8" hasta lograr la interconexión con la red térmica existente. Para que la tubería tuviera soporte, se fabricaron cargadores con vigas tipo H que fueron fijados al suelo con pernos de anclaje.

La instalación de la tubería de la entrada o retorno a la caldera incluye la conexión al sistema de las bombas de aceite térmico. En la figura 62 se aprecia a un técnico trabajando en la soldadura de la tubería para la entrada, se nota como se tuvo que usar reducidos para ajustarse a los diámetros de las bombas.

Figura 62. **Soldadura de tubería**



Fuente: Textisur.

Las tres bombas de aceite térmico poseen una válvula de compuerta en la admisión y una en la salida, con el fin de aislar completamente la misma al momento de ser necesario por mantenimiento o reparación. Las válvulas se unen a la red por medio del método brida-empaque que forman un sello. Se sujetan por medio de tornillo. Aunado a esto, se instalaron válvulas para el drenaje del aceite térmico a un lado de las bombas.

Los electrodos empleados en la soldadura de la tubería de aceite térmico fueron E-6013 1/8" para el cordón de presentación y E-7018 1/8" para el cordón de penetración.

El montaje de la tubería de aceite térmico finaliza con algunas modificaciones realizadas en la red, sobre todo en el segmento de las bombas de las calderas que funcionaron anteriormente. El objetivo, por tema de costos de energía eléctrica, era crear un circuito donde las únicas bombas que hicieran circular el aceite fueran las instaladas por el montaje de la caldera de carbón-biomasa. Se evitó pasar por las tres bombas montando tubos fabricados en forma de U en los tres ramales existentes y con ello se redujo también la carga de consumo, pasando de un sistema alimentado por tres bombas a uno que opera correctamente con dos.

Tabla XLII. **Cronología de fase de montaje de tubería aceite térmico**

| <b>Actividad</b>                                 | <b>Fecha</b>                |
|--------------------------------------------------|-----------------------------|
| Inicio fase de montaje tubería aceite térmico    | Jueves 30 de enero de 2014  |
| Fin de fase de montaje de tubería aceite térmico | Lunes 24 de febrero de 2014 |

Fuente: elaboración propia.

- Agua y vapor

Se requirió hacer una derivación del anillo de agua para alimentar al generador de vapor de la caldera. Se empleó tubo de dos pulgadas para llevar el agua hasta el tanque de almacenamiento. Se instaló una válvula de compuerta a la entrada de este tanque. Como soporte y medida de remplazo, la caldera viene con dos motores y bombas de agua, pero solo una funciona a la

vez. La instalación de los accesorios, tubos y válvulas continuó hasta conectar las bombas con el generador de vapor, a su vez se trabajó en el drenaje. Se montaron válvulas cheque para evitar el retorno del agua de drenaje al generador cuando se hace la descarga.

En esta labor del montaje se utilizó bastante silicón rojo, rollos de teflón y empaques para hacer los sellos entre bridas.

Para la conexión del generador de vapor, primero se instaló el controlador de nivel, en el medio llamado McDonnell, que va rigiendo el accionar de la bomba de alimentación de agua. Luego se instalaron las válvulas de seguridad y las válvulas de compuerta de la salida de vapor.

Por último se conectó la salida de vapor hasta un *manifould* o distribuidor a partir del cual se dirige hacia la red de vapor de la compañía para aportar aproximadamente 1 TmV/hora.

### **3.10. Acometida eléctrica**

La instalación de la acometida eléctrica de la caldera inicia con el cálculo del calibre de cable necesario para conducir la corriente desde el punto pivote hasta la máquina. Este cálculo requiere conocer qué corriente y voltaje necesita la caldera para trabajar, en total este valor lo dan la cantidad y consumo de los equipos que forman el sistema eléctrico de la caldera.

De acuerdo al consumo o corriente a transportar se tiene la siguiente de tabla que utiliza AWG para hacer cálculos:

Tabla XLIII. **Calibre de cable y amperaje**

| Codigo AWG | Diametro del conductor (mm) | Ohmios por kilometro | Amperaje maximo para distancias cortas | Amperaje maximo para distancias largas |
|------------|-----------------------------|----------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| OOOO       | 11.684                      | 0.16072              | 380                                    | 302                                    |
| OOO        | 10.40384                    | 0.202704             | 328                                    | 239                                    |
| OO         | 9.26592                     | 0.255512             | 283                                    | 190                                    |
| 0          | 8.25246                     | 0.322424             | 245                                    | 150                                    |
| 1          | 7.34822                     | 0.406392             | 211                                    | 119                                    |
| 2          | 6.54304                     | 0.512664             | 181                                    | 94                                     |
| 3          | 5.82676                     | 0.64616              | 158                                    | 75                                     |
| 4          | 5.18922                     | 0.81508              | 135                                    | 60                                     |
| 5          | 4.62026                     | 1.027624             | 118                                    | 47                                     |
| 6          | 4.1148                      | 1.295928             | 101                                    | 37                                     |
| 7          | 3.66522                     | 1.634096             | 89                                     | 30                                     |
| 8          | 3.2639                      | 2.060496             | 73                                     | 24                                     |
| 9          | 2.90576                     | 2.598088             | 64                                     | 19                                     |
| 10         | 2.58826                     | 3.276392             | 55                                     | 15                                     |
| 11         | 2.30378                     | 4.1328               | 47                                     | 12                                     |
| 12         | 2.05232                     | 5.20864              | 41                                     | 9.3                                    |
| 13         | 1.8288                      | 6.56984              | 35                                     | 7.4                                    |
| 14         | 1.62814                     | 8.282                | 32                                     | 5.9                                    |
| 15         | 1.45034                     | 10.44352             | 28                                     | 4.7                                    |
| 16         | 1.29032                     | 13.17248             | 22                                     | 3.7                                    |
| 17         | 1.15062                     | 16.60992             | 19                                     | 2.9                                    |
| 18         | 1.02362                     | 20.9428              | 16                                     | 2.3                                    |
| 19         | 0.91186                     | 26.40728             | 14                                     | 1.8                                    |
| 20         | 0.8128                      | 33.292               | 11                                     | 1.5                                    |
| 21         | 0.7239                      | 41.984               | 9                                      | 1.2                                    |
| 22         | 0.64516                     | 52.9392              | 7                                      | 0.92                                   |
| 23         | 0.57404                     | 66.7808              | 4.7                                    | 0.729                                  |
| 24         | 0.51054                     | 84.1976              | 3.5                                    | 0.577                                  |
| 25         | 0.45466                     | 106.1736             | 2.7                                    | 0.457                                  |
| 26         | 0.40386                     | 133.8568             | 2.2                                    | 0.361                                  |
| 27         | 0.36068                     | 168.8216             | 1.7                                    | 0.288                                  |
| 28         | 0.32004                     | 212.872              | 1.4                                    | 0.226                                  |
| 29         | 0.28702                     | 268.4024             | 1.2                                    | 0.182                                  |
| 30         | 0.254                       | 338.496              | 0.86                                   | 0.142                                  |
| 31         | 0.22606                     | 426.728              | 0.7                                    | 0.113                                  |
| 32         | 0.2032                      | 538.248              | 0.53                                   | 0.091                                  |

Fuente: *Calibre de conductores y su amperaje máximo*. <http://asterion.almadark.com/>.

Consulta: 10 de abril de 2015.

Luego de trasladar y ubicar el tablero eléctrico, se determina el lugar más adecuado para extraer la corriente, siendo este un tablero de distribución que está conectado a la subestación número tres (tex3). La alimentación se extrajo de las barras conductoras de cobre y las líneas de alimentación principal se colocaron dentro los tubos de conducto eléctrico y se llevaron hasta el tablero de la máquina.

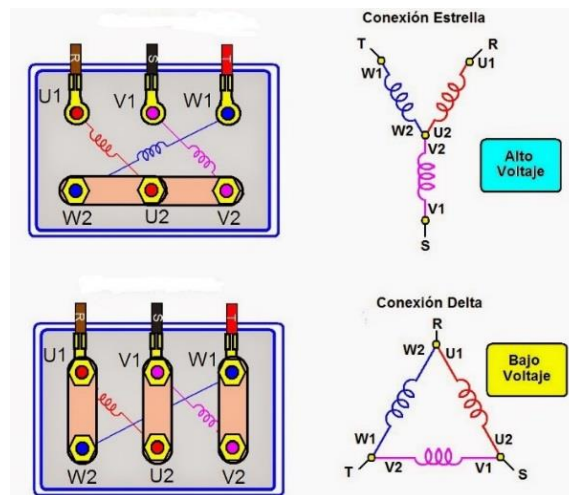
Desde aquí se distribuyeron las líneas a todos y cada uno de los elementos a energizar, sobre todo mandos de motores. Se emplearon canaletas, tubos eléctricos de PVC, tubos flexibles y tubos de HG para conducir el cableado. Para la conexión de los motores se utilizó cinta aislante como suministro y borneras del calibre del cable a conectar.

Otras tareas incluidas en la acometida eléctrica son: la instalación de un transformador 440/220V para el mando; la instalación de un *flip-on* para separar la potencia de las bombas de circulación 1 y 2; la modificación del circuito de mando de las bombas de circulación para que pudieran arrancar ambas a la vez; la modificación al mando del elevador de carbón (combustible) para añadir una botonera montada en el mismo soporte del elevador y la instalación de la botonera.

Los motores eléctricos trifásicos pueden conectarse, usando varios tipos de configuración que, de acuerdo a su potencia, consumo de corriente y características, pueden ser: conexión estrella, conexión delta y conexión estrella delta. Para el caso de los motores pequeños que precisan corrientes de arranque poco intensas se pueden conectar directamente. Los motores de gran potencia suelen conectarse usando contactores para lograr un arranque estrella-delta que amortigua el arranque haciéndolo suave.

En la figura 63 se representa un esquemático de las conexiones mencionadas.

Figura 63. **Conexión de motores trifásicos**



Fuente: *Motores eléctricos trifásicos de 6 terminales*. <http://coparoman.blogspot.com/>.

Consulta: 12 de abril de 2015.

Los tipos de conexión usados en los diversos motores de la caldera de carbón-biomasa se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XLIV. **Tipo de conexión de motores**

| Motor                                           | Tipo de conexión |          |
|-------------------------------------------------|------------------|----------|
|                                                 | Arranque         | Marcha   |
| Motores de bombas de circulación aceite térmico | Estrella         | Delta    |
| Motores de bombas de agua                       | Delta            | Delta    |
| Motor Soplador                                  | Estrella         | Delta    |
| Motor de turbina de chimenea                    | Estrella         | Delta    |
| Motorreductor de extractor de ceniza            | Estrella         | Estrella |

Continuación de la tabla XLIV.

|                                       |          |          |
|---------------------------------------|----------|----------|
| Motorreductor de banda transportadora | Delta    | Delta    |
| Motorreductor de elevador de tolva    | Estrella | Estrella |

Fuente: elaboración propia.

A algunos de los motores, para precisar, los de mayor potencia, se les adaptaron variadores de frecuencia para que en el arranque, donde se genera un enorme gasto de corriente y energía, no sean expuestos a desgaste y otros efectos como vibración excesiva. Tal es el caso del motor de la turbina de la chimenea, el motor soplador y el motor de la bomba de circulación 1. En el caso de los dos últimos se adaptaron variadores que ya existían en la compañía, pero para el primero se tuvo que comprar un variador en función de su potencia y voltaje. Mientras que los motores de baja potencia y el motor de la bomba de circulación 2, fueron instalados con mandos operados por contactores y bloques auxiliares.

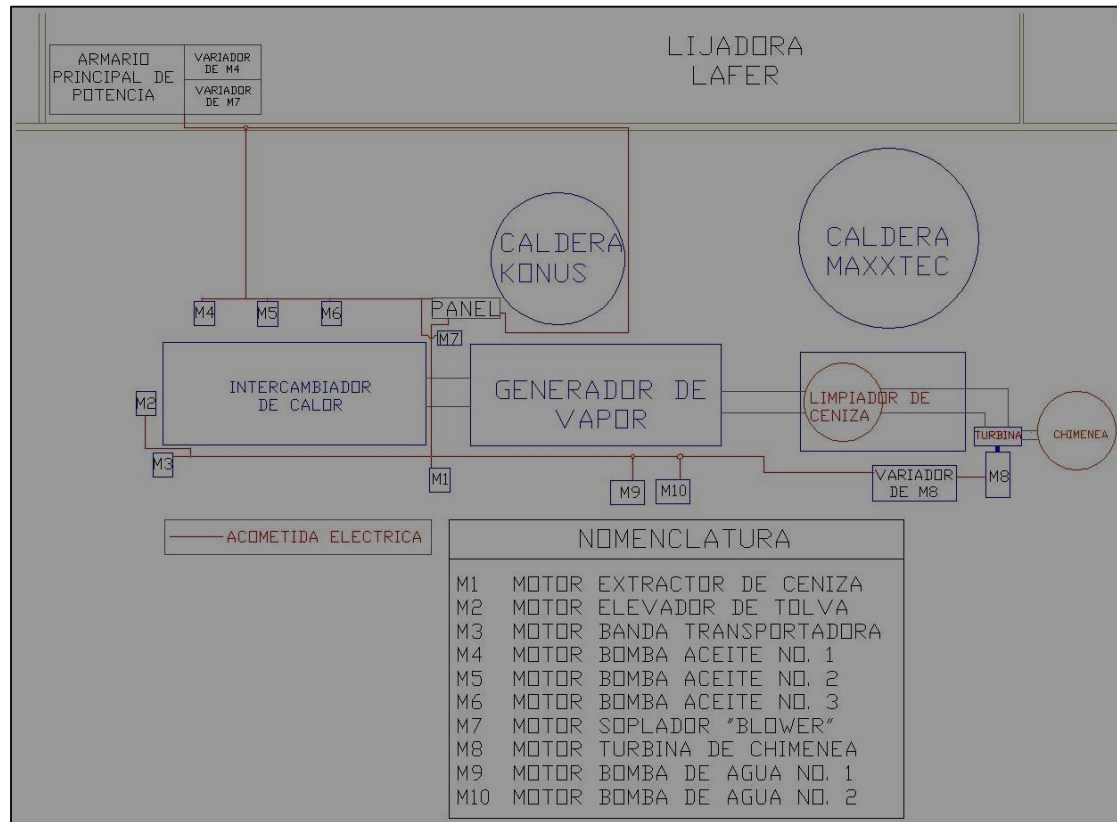
Tabla XLV. **Cronología de la fase de acometida eléctrica**

| <b>Actividad</b>                                | <b>Fecha</b>                   |
|-------------------------------------------------|--------------------------------|
| Inicio de instalación de la acometida eléctrica | Miércoles 5 de febrero de 2014 |
| Fin de instalación de la acometida eléctrica    | Viernes 28 de febrero de 2014  |

Fuente: elaboración propia.

En el siguiente plano se muestra la distribución de la acometida eléctrica para los motores hecha para la caldera de carbón-biomasa.

Figura 64. Esquema de acometida eléctrica

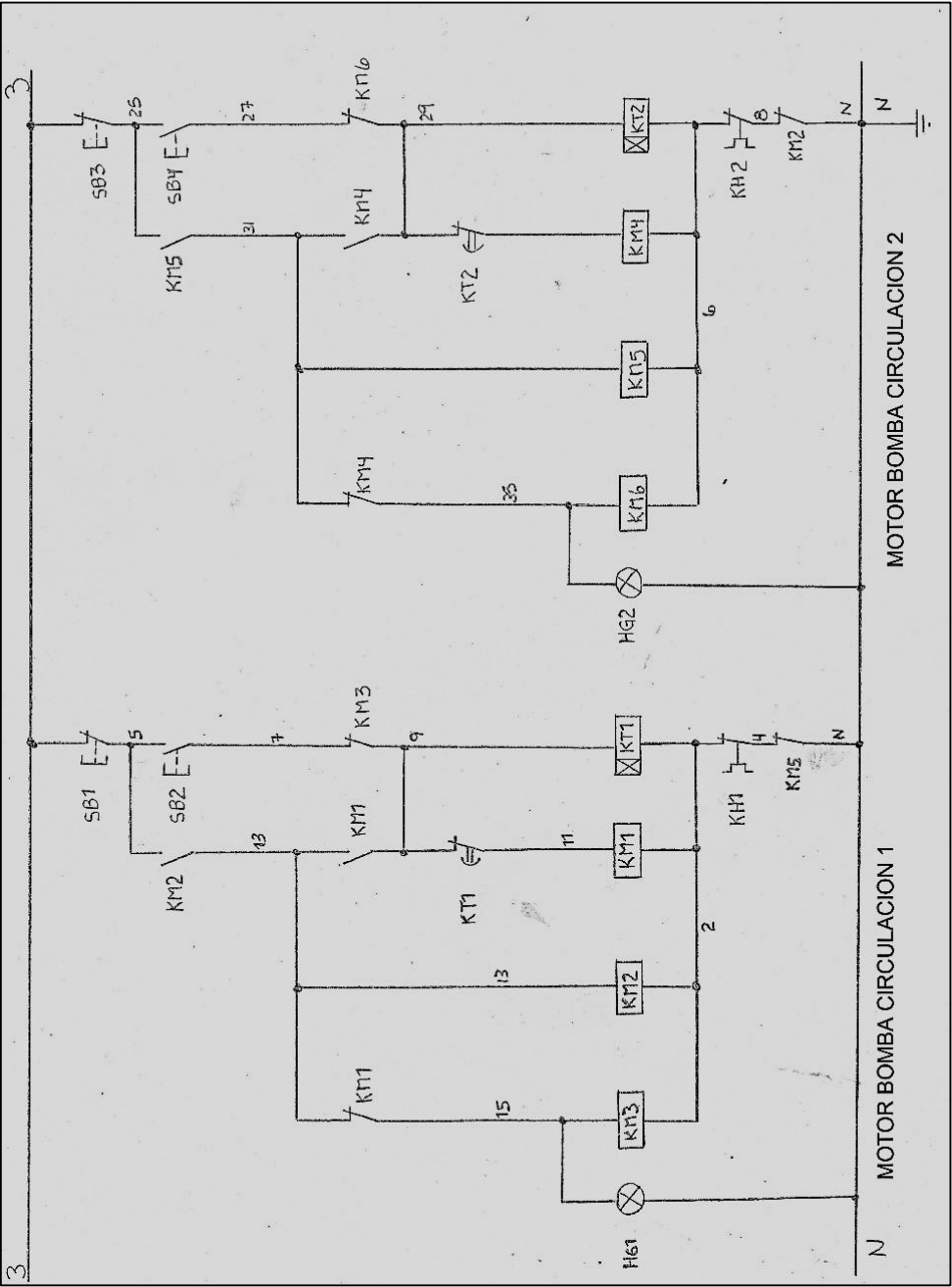


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Para que sea más fácil identificar como está hecha la instalación eléctrica (acometida) se ha elaborado un diagrama eléctrico de grado técnico que muestra claramente la forma en que se ha conectado cada elemento.

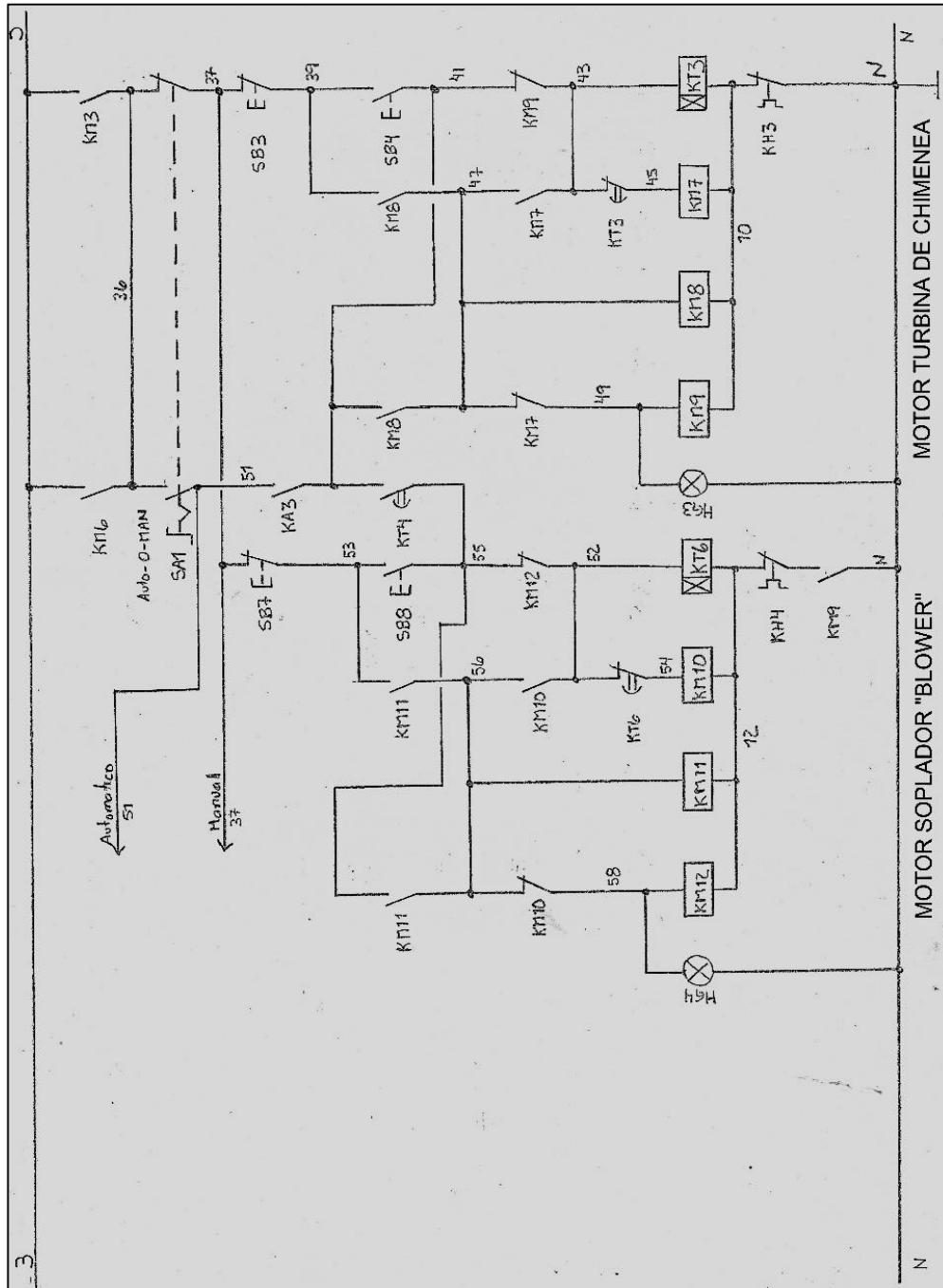


Figura 65. Diagrama eléctrico 1/6



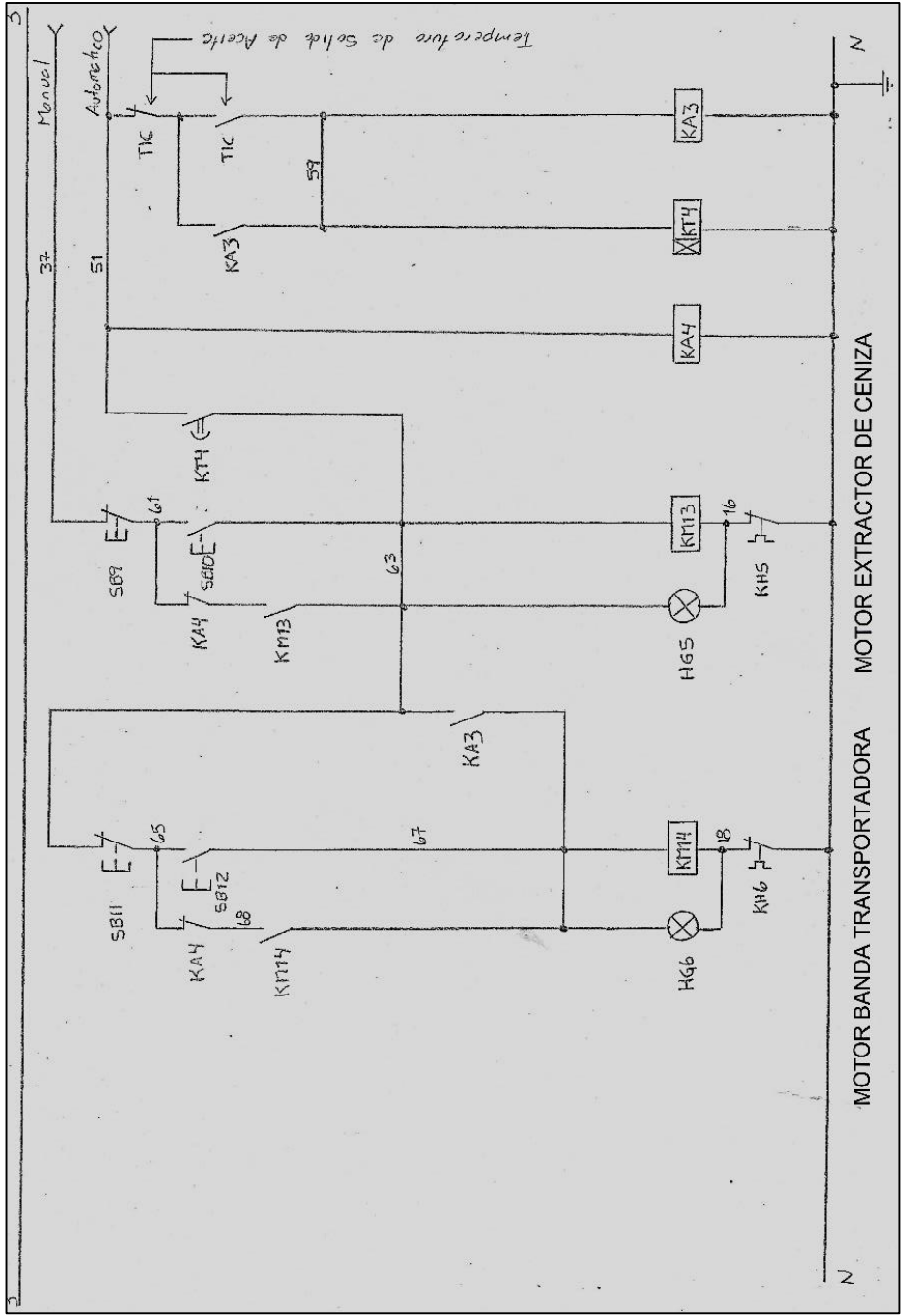
Fuente: Textisur.

Figura 66. Diagrama eléctrico 2/6



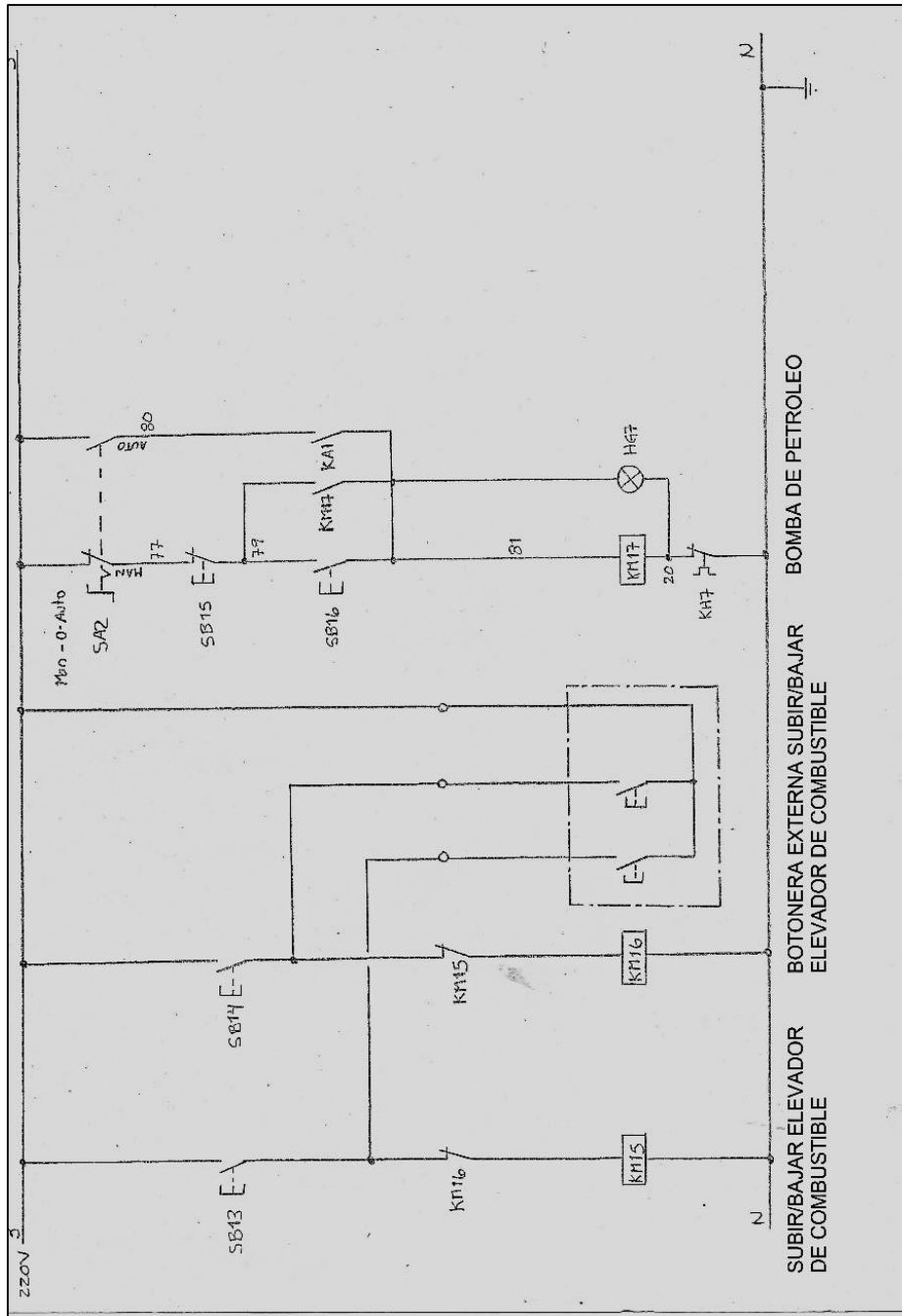
Fuente: Textisur.

Figura 67. Diagrama eléctrico 3/6



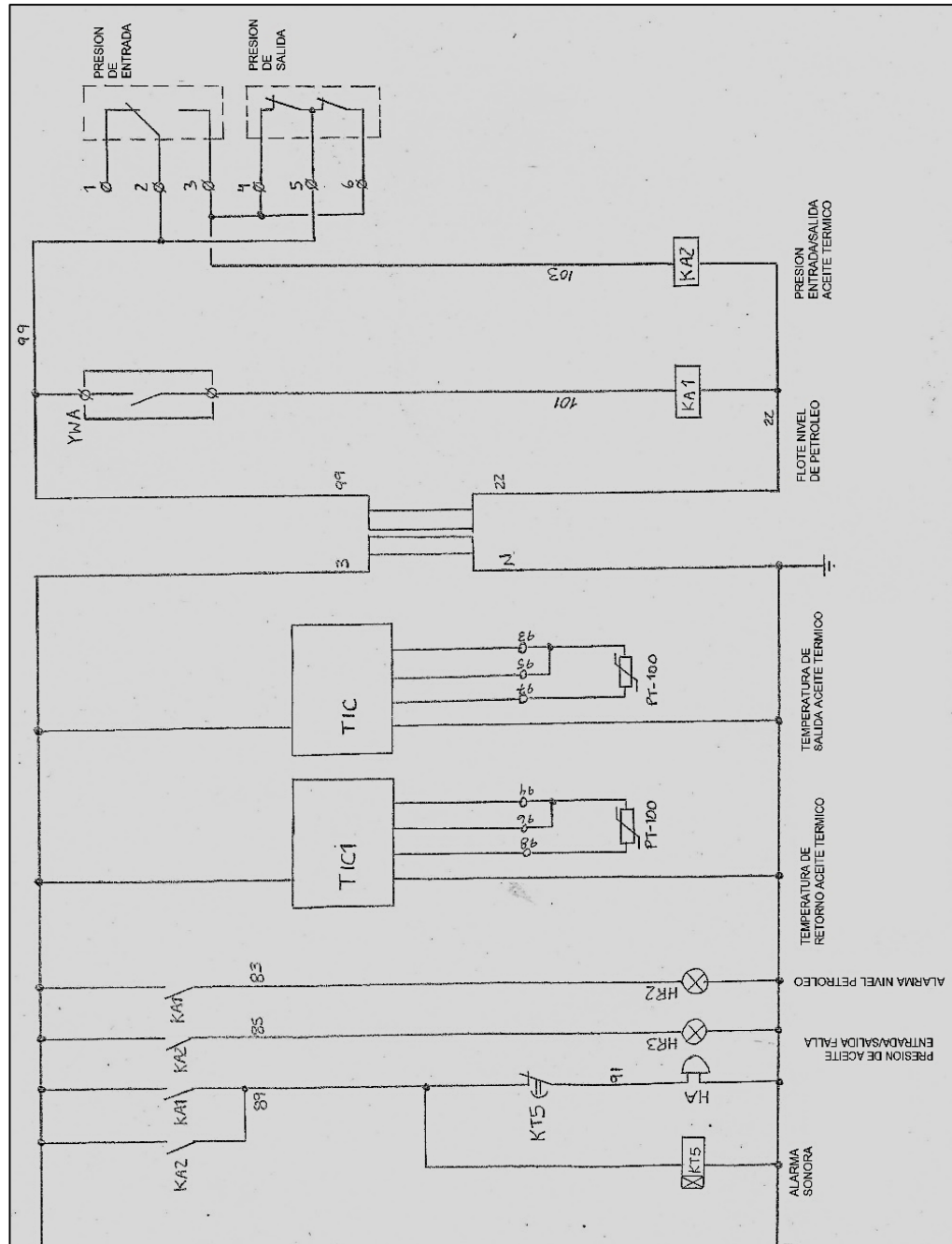
Fuente: Textisur.

Figura 68. Diagrama eléctrico 4/6



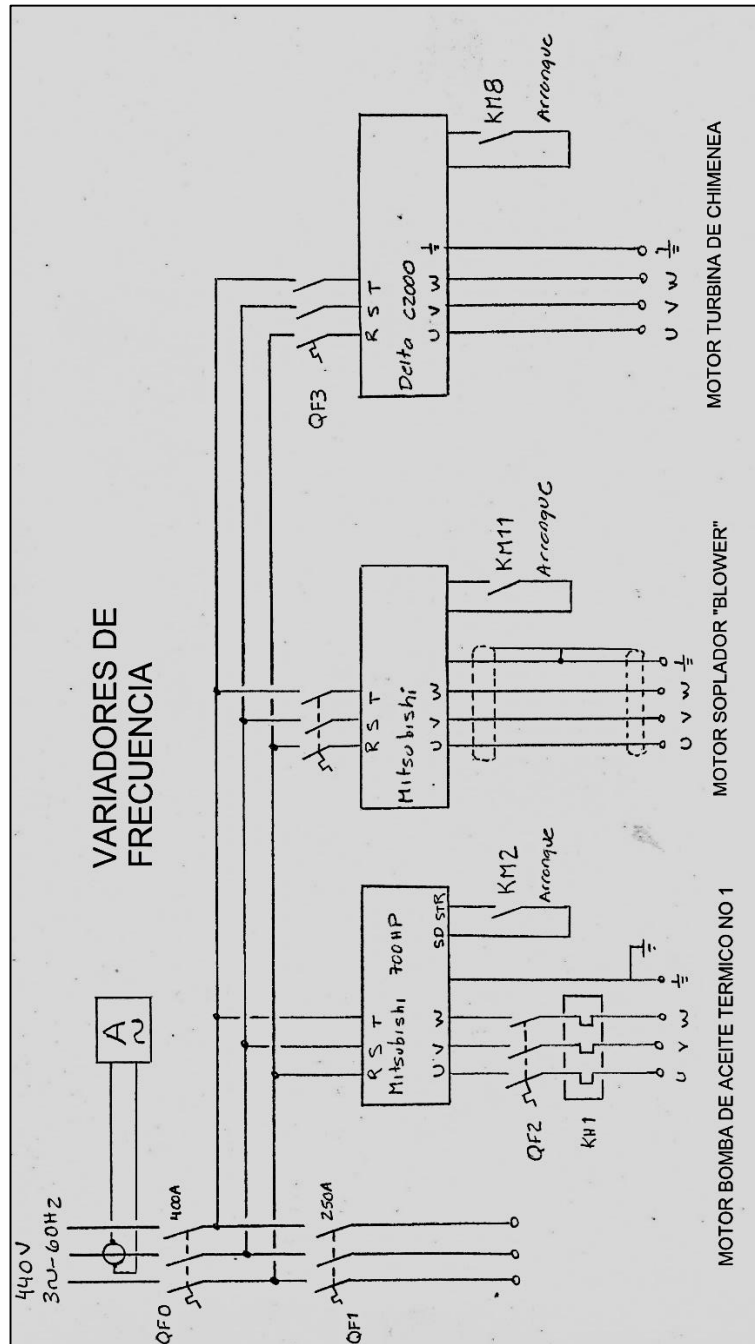
Fuente: Textisur.

Figura 69. Diagrama eléctrico 5/6



Fuente: Textisur.

Figura 70. Diagrama eléctrico 6/6



Fuente: Textisur.

### **3.11. Fabricación de ductos**

Entre elementos de la caldera, por ejemplo el horno y el generador de vapor, su conexión fue a través de ductos. Es por estos ductos donde viajan los gases de combustión. Este trabajo fue subcontratado para avanzar rápidamente en el montaje, de lo contrario se hubiese requerido más mano de obra directa y tiempo. Los demás elementos que están conectados por medio de ductos son el par generador de vapor-limpiador de humos, limpiador de humos-caracol y caracol-chimenea. En la figura 71 se aprecia parte del trabajo realizado por la compañía subcontratada en el ducto de la salida del intercambiador y entrada al generador de vapor.

Figura 71. **Fabricación de ductos**



Fuente: Textisur.

### **3.12. Descripción de equipo**

A continuación se describirá la función, características principales y los datos más relevantes acerca de los equipos de la caldera de carbón-biomasa.

### 3.12.1. Horno

El horno es la parte de la caldera donde todo combustible arde, se concentra y cede su energía para el intercambio térmico. Internamente posee una gruesa capa de cemento refractario para mantener la temperatura y evitar que la misma se transmita al ambiente. Posee una banda transportadora que mueve el combustible para generar un proceso continuo, el movimiento de la banda lo genera un motorreductor.

El horno posee dos escotillas laterales por donde se ingresa el combustible y una tolva principal de combustible que es llenada por una canoa elevadora a la entrada de la máquina. El aire puede ser modulado internamente con unos mecanismos que restringen su paso.

Para que el fuego se genere es indispensable que se junten tres elementos de manera armoniosa: el calor, el combustible y el oxígeno. Sin uno de estos, el fuego no puede subsistir, ni permanecer, ni propagarse.

Figura 72. **Triángulo del fuego**



Fuente: *Triángulo y tetraedro del fuego*. <http://www.expower.es/>. Consulta: 16 de abril de 2015.



El oxígeno es intrínseco al aire y lo suministra un ventilador. El combustible lo representa el carbón y la biomasa, y el calor es producido por el aumento de la temperatura.

Figura 73. **Escotilla del horno**



Fuente: Textisur.

### **3.12.2. Intercambiador de calor**

Sobrepuesto al horno se encuentra el intercambiador de calor, en esta parte de la caldera se produce la acción principal y la razón de ser de la máquina. El calor generado por el combustible es transmitido hacia el aceite que viaja por un serpentín o espiral, aumentando la temperatura del fluido térmico. Su interior también está recubierto por cemento refractario.

Es de resaltar que el intercambiador tiene una entrada y una salida específica, en ciertos intercambiadores no importa cuál sea la entrada y cuál la salida, pero debido a que la máquina trae un precalentador instalado a la entrada, se debe respetar que la entrada al intercambiador es abajo y la salida es arriba.

Figura 74. **Intercambiador de calor**



Fuente: Textisur.

### **3.12.3. Generador de vapor**

Una de las características más interesantes de esta caldera es que los gases de combustión que salen del horno e intercambiador no son enviados directamente hacia el ambiente. Los gases, al salir del intercambiador aún contienen una elevada energía, esta energía es aprovechada para evaporar el agua en el generador de vapor. Este generador de vapor es del tipo pirotubular porque los gases viajan a través de las decenas de tubos internos y el agua está alrededor de los mismos. El agua, al contacto con los tubos, absorbe parte del calor y aumenta su temperatura hasta que supera su punto de evaporación, convirtiéndose en vapor saturado seco.

El calor de los gases, que supera los 100 °C, es suficiente para generar hasta una tonelada de vapor por hora a una presión estable de 80 psi en condiciones normales de operación.

Figura 75. **Generador de vapor**



Fuente: Textisur.

#### **3.12.4. Separador ciclónico de humos y ceniza**

Es una estructura cilíndrica fabricada de fibra de vidrio, su función es capturar la ceniza que viaja junto con los gases de combustión, atrapándola en una pileta llena de agua, dejando pasar solo aquella ceniza cuya granulometría sea más fina. Posee un filtro metálico en su interior que permite hacer esta función. Está ubicada justo después del generador de vapor.

Figura 76. **Separador ciclónico de ceniza**



Fuente: Textisur.

### **3.12.5. Precalentador**

Se ha mencionado que dentro del intercambiador de calor, precisamente a la entrada, existe un precalentador. La función de este, que es un serpentín, es ayudar a que el calentamiento del aceite sea más rápido y eficiente, previo a ingresar al serpentín principal.

### **3.12.6. Extractor de residuos**

Luego que el combustible ha ardido, aún quedan residuos de la materia quemada. La banda transportadora arrastra estos residuos hasta una estructura metálica en forma de canoa que está llena de agua, con el fin de disminuir su temperatura. Lo que aquí cae es sacado por el extractor de residuos, por medio de un mecanismo de paletas conectadas por una cadena que hacen el transporte de los residuos desde la canoa hasta un depósito temporal que generalmente es una carreta. El movimiento del extractor lo produce un motorreductor.

Figura 77. **Extractor de residuos**



Fuente: Textisur.

### 3.12.7. Motores

Un motor es una máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Los motores que la caldera tiene instalados son motores eléctricos trifásicos. Como la máquina es de origen asiático, muchas características difieren un poco en comparación con lo típico de la región. Es de destacar que la frecuencia de diseño es de 50 Hz y la tensión 380 V, pero esto no afectó su funcionamiento, en Guatemala se trabaja con 60 Hz y 440V.

A continuación se describen y se incluyen sus datos más relevantes.

- Motores de bombas de circulación aceite térmico: estos motores son los que hacen que las bombas mantengan circulando el aceite térmico en toda la red. En total son tres motores y los datos específicos de cada uno son:

Tabla XLVI. Datos de los motores de bombas de circulación 1 y 2

|                  |             |                   |       |
|------------------|-------------|-------------------|-------|
| <b>Potencia</b>  | 45 kW       | <b>Voltaje</b>    | 380 V |
| <b>Corriente</b> | 83,9 A      | <b>Frecuencia</b> | 50 Hz |
| <b>Velocidad</b> | 2 970 r/min |                   |       |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. Datos del motor de la bomba de circulación 3

|                  |             |                   |       |
|------------------|-------------|-------------------|-------|
| <b>Potencia</b>  | 45 kW       | <b>Voltaje</b>    | 380 V |
| <b>Corriente</b> | 82,3 A      | <b>Frecuencia</b> | 50 Hz |
| <b>Velocidad</b> | 2 960 r/min |                   |       |

Fuente: elaboración propia.

Figura 78. **Motor de bomba de circulación**



Fuente: Textisur.

- Motores de bombas de agua: la función de estos motores es impulsar las bombas para introducir el agua al generador de vapor. Son dos motores pero solo uno funciona a la vez y el otro se tiene como remplazo.

Tabla XLVIII. **Motores de las bombas de agua**

|                  |             |                   |       |
|------------------|-------------|-------------------|-------|
| <b>Potencia</b>  | 5,5 kW      | <b>Voltaje</b>    | 380 V |
| <b>Corriente</b> | 11,1 A      | <b>Frecuencia</b> | 50 Hz |
| <b>Velocidad</b> | 2 900 r/min |                   |       |

Fuente: elaboración propia.

Figura 79. **Motor de bomba de agua**



Fuente: Textisur.

- Motor soplador *blower*: posee un ventilador o turbina que hace fluir aire al interior del horno. Un variador hace que el motor arranque suavemente.

Tabla XLIX. **Motor soplador *blower***

|                  |             |                   |       |
|------------------|-------------|-------------------|-------|
| <b>Potencia</b>  | 15 kW       | <b>Voltaje</b>    | 380V  |
| <b>Corriente</b> | 29,4 A      | <b>Frecuencia</b> | 50 Hz |
| <b>Velocidad</b> | 2 930 r/min |                   |       |

Fuente: elaboración propia.

Figura 80. **Motor soplador**



Fuente: Textisur.

- Motor de turbina de chimenea: este motor, de alto caballaje, realiza un gran trabajo, mueve una turbina que expulsa los gases de combustión al crear una presión de vacío. Debido a la alta carga mecánica que debe mantener, el motor consta de un sistema de refrigeración por agua.

Tabla L.      **Datos del motor de turbina de chimenea**

|                  |             |                   |       |
|------------------|-------------|-------------------|-------|
| <b>Potencia</b>  | 45 kW       | <b>Voltaje</b>    | 380 V |
| <b>Corriente</b> | 84 A        | <b>Frecuencia</b> | 50 Hz |
| <b>Velocidad</b> | 1 480 r/min |                   |       |

Fuente: elaboración propia.

Figura 81.      **Motor de turbina de chimenea**



Fuente: Textisur.

- Motorreductor del extractor de ceniza: su función es mover el extractor de ceniza. Para que el movimiento de este motor sea lento, tiene instalado en la salida del mismo una caja reductora que, por medio de un tren de engranajes, reduce el número de revoluciones por minuto. El mecanismo se complementa con una cadena y un *sprocket* por donde se impulsa la cadena del extractor.



Tabla LI. **Datos del motorreductor de extractor de ceniza**

|                  |           |                                      |          |
|------------------|-----------|--------------------------------------|----------|
| <b>Potencia</b>  | 1,1 kW    | <b>Voltaje</b>                       | 380 V    |
| <b>Corriente</b> | 3,18 A    | <b>Frecuencia</b>                    | 50-60 Hz |
| <b>Velocidad</b> | 910 r/min | <b>Relación de velocidad de caja</b> | 1:40     |

Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **Motorreductor del extractor de ceniza**



Fuente: Textisur.

- Motorreductor de banda transportadora: este motor mueve lentamente la banda transportadora al reducir sus revoluciones con ayuda de una caja reductora, posee dos marchas y una opción para detener la banda.

Tabla LIII. **Datos del motorreductor de banda transportadora**

|                  |                 |                                      |            |
|------------------|-----------------|--------------------------------------|------------|
| <b>Potencia</b>  | 0,65/0,85 kW    | <b>Voltaje</b>                       | 380 V      |
| <b>Corriente</b> | 2,2/2,9 A       | <b>Frecuencia</b>                    | 50 Hz      |
| <b>Velocidad</b> | 920/1 420 r/min | <b>Relación de velocidad de caja</b> | 6 rev/hora |

Fuente: elaboración propia.

Figura 82. **Motorreductor de banda transportadora**



Fuente: Textisur.

- Motorreductor del elevador de tolva: la función de este motor es elevar la tolva de combustible para alimentar la tolva principal de combustible. El mecanismo se complementa con poleas, rodos y cable blindado.

Tabla LIV. **Datos de motorreductor elevador de tolva**

|                  |           |                                      |          |
|------------------|-----------|--------------------------------------|----------|
| <b>Potencia</b>  | 2,2 kW    | <b>Voltaje</b>                       | 2,2 kW   |
| <b>Corriente</b> | 5,6 A     | <b>Frecuencia</b>                    | 50-60 Hz |
| <b>Velocidad</b> | 935 r/min | <b>Relación de velocidad de caja</b> | 1:40     |

Fuente: elaboración propia.

Figura 83. **Motorreductor de elevador de tolva**



Fuente: Textisur.

### **3.12.8. Válvulas de seguridad**

Cuando, por alguna razón, la presión en el generador de vapor excede el límite permisible, existe un mecanismo de liberación de esta peligrosa presión. Se llaman válvulas de seguridad y se abren únicamente cuando hay una sobrepresión.

Figura 84. **Válvula de seguridad de generador de vapor**



Fuente: Textisur.

### **3.12.9. Filtro de impurezas**

Este filtro está conectado en la línea de retorno de aceite térmico, su función básicamente es retener la materia o escoria que se desprende en el interior de los tubos, atrapándolos en un filtro.

Figura 85. **Filtro de impurezas**



Fuente Textisur.

### **3.12.10. Distribución de tanques**

Para que la caldera pueda operar adecuadamente, debe haber una serie de tanques que ayuden a realizar esta tarea. Los tanques que utiliza la caldera son: el tanque de expansión, el tanque de aceite térmico y el tanque de agua del generador de vapor, aunque con la caldera venían estos tres tanques se emplearon los que tenían instaladas las calderas de bunker. A continuación se reseña su función.

- Tanque de expansión: cuando el fluido térmico calienta, la presión en el mismo aumenta y, por ende, se expande. Para evitar que la red colapse

se instala este tanque en un lugar elevado para que reciba el aceite en expansión.

Figura 86. **Tanque de expansión**



Fuente: Textisur.

- Tanque de almacenamiento: este tanque sirve de depósito cuando se programa mantenimiento o alguna reparación a la tubería de la caldera, ya que es preciso vaciar en su totalidad el aceite térmico para evitar cualquier derrame. También funciona como receptor del aceite que se desea ingresar a la caldera.

Figura 87. **Tanque de almacenamiento**



Fuente: Textisur.

- Tanque de agua del generador: es el tanque que alimenta de agua al generador, de este toman el agua las bombas para introducirlo hacia su interior.

Figura 88. **Tanque de agua de generador de vapor**



Fuente: Textisur.

### **3.12.11. Instrumentación**

Para mantener el control de las condiciones y variables de operación de la caldera fue necesario montar una serie de instrumentos que permiten leer y monitorear magnitudes importantes como presión y temperatura. Los instrumentos tienen tres elementos básicos: el elemento primario, el elemento transmisor y el elemento secundario.

- Elemento primario: es el encargado de leer la variable, por ejemplo un tubo de Bourdon o una sonda termométrica.
- Elemento transmisor: es la parte del instrumento que lleva el valor medido de la variable.

- Elemento secundario: muestra el resultado de la medición.

Cuando a la instrumentación se le aplican métodos de control, además de conocer el valor de las variables, es posible manipularlas para mantenerlas en niveles preestablecidos.

#### **3.12.11.1. Manómetros**

Son instrumentos que se emplean para medir presión. El tipo más común de manómetros es el de tubo de Bourdon, formado por un tubo de sección elíptica que genera un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, este tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora por un sector dentado y un piñón.

En la caldera se instalaron dos manómetros de tipo Bourdon, uno en la entrada y uno en la salida de la máquina, para medir la presión del fluido térmico cuando entra y cuando sale. También se montó un manómetro tipo Bourdon en cada una de las tres bombas y uno en el generador de vapor.

Figura 89. **Manómetro de la bomba de aceite térmico**



Fuente: Textisur.

Figura 90. **Manómetro del generador de vapor**



Fuente: Textisur.

### **3.12.11.2. Termocoplas y termómetros**

Son elementos primarios para la medición y control de la temperatura, son las encargadas de sensar o medir la temperatura, luego codifican y envían la señal al panel de control en donde se muestra el valor en unos *displays*, para luego ser comparada con un valor de referencia. Si la temperatura está por debajo o por arriba de los límites establecidos, la máquina automáticamente se enciende o se apaga respectivamente. Los parámetros de temperaturas pueden ser modificados.

Figura 91. **Termómetro y termocopla**



Fuente: Textisur.



Parámetros para arranque y paro en operación normal:

- Arranque: 245°C
- Paro: 265 °C

En la caldera también se instalaron termómetros de carátula del tipo bimetalico a la entrada y a la salida del intercambiador de calor, con el fin de verificar manualmente la temperatura. Por último, se montó un termómetro bimetalico en la etapa de alta y en la de baja presión del generador de vapor.

#### **3.12.11.3. Medidor de vacío (vacuómetro)**

“Vacío es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica.”<sup>8</sup> En la chimenea se instaló un medidor de presión de vacío que permite visualizar cómo se comporta el sistema de tiro forzado al interior.

#### **3.12.11.4. Datos de los instrumentos**

- Manómetro diferencial con ajuste de presión de salida y entrada aceite térmico
  - Intervalo de medida (*range*) = 0-1,6 bar
  - Alcance (*span*) = 1,6 bar
  - Dígito menos significativo = 0,02 bar
- Manómetro tubo de Bourdon de bomba de aceite térmico
  - Intervalo de medida 1 (*range*) = 0-230 psi
  - Intervalo de medida 2 (*range* 2) = 0-16 bar

---

<sup>8</sup> CREUS, Antonio. *Instrumentación industrial*. p. 92.

- Alcance 1 (*span* 1) = 230 psi
- Alcance 2 (*span* 2) = 16 bar
- Dígito menos significativo 1 = 5 psi
- Dígito menos significativo 2 = 0,5 bar
  
- Manómetro tubo de Bourdon de generador de vapor
  - Intervalo de medida (*range*) = 0-300 psi
  - Alcance (*span*) = 300 psi
  - Dígito menos significativo = 1 psi
  
- Termómetros bimetalico de salida y entrada aceite térmico
  - Intervalo de medida (*range*) = 0-400 °C
  - Alcance (*span*) = 400 °C
  - Dígito menos significativo = 10 °C
  
- Termómetro bimetalico de gases de combustión de alta
  - Intervalo de medida 1 (*range* 1) = 100-650 °C
  - Intervalo de medida 2 (*range* 2) = 200-1 000 °F
  - Alcance 1 (*span* 1) = 550 °C
  - Alcance (*span* 2) = 800 °F
  - Dígito menos significativo 1 = 5 °C
  - Dígito menos significativo 2 = 10 °F
  
- Termómetro bimetalico de gases de combustión de baja
  - Intervalo de medida (*range*) = 0-400 °C
  - Alcance (*span*) = 400 °C
  - Dígito menos significativo = 5 °C

- Vacuómetro de chimenea
  - Intervalo de medida 1 (*range*) = 0-20 plg de H<sub>2</sub>O
  - Intervalo de medida 2 (*range*) = 0-5 kPa
  - Alcance 1 (*span* 1) = 20 plg de H<sub>2</sub>O
  - Alcance 2 (*span* 2) = 5 kPa
  - Dígito menos significativo 1 = 0,5 plg de H<sub>2</sub>O
  - Dígito menos significativo 2 = 0,1 kPa

### 3.12.12. Bombas de aceite térmico

Son las encargadas de impulsar el aceite térmico por toda la tubería para llegar hasta las máquinas que requieren del calor como suministro para realizar los procesos de producción. Es preciso resaltar que en operación solo dos bombas trabajan, la tercera es un resguardo o remplazo que puede utilizarse cuando alguna de las dos falla.

Figura 92. Bomba de aceite térmico



Fuente: Textisur.

### **3.12.13. Bombas de agua**

Su función es alimentar al generador de vapor, al igual que las bombas de aceite térmico, una de las dos bombas de agua es un remplazo o repuesto que puede entrar a funcionar cuando la otra falla.

Figura 93. **Bombas de agua**



Fuente: Textisur.

### **3.12.14. Chimenea**

Es una estructura tubular metálica por donde los gases de combustión son extraídos al ambiente. Una turbina conectada a un motor de gran potencia, crea un vacío y ejerce una fuerza necesaria para sacar los gases y ceniza fina. La chimenea tiene un diámetro de 0,70 m y una altura de 13,5 m.

Figura 94. **Chimenea**



Fuente: Textisur.

### **3.12.15. Red de tubería térmica y de agua**

En general, es el conjunto de tubos ensamblados por medio de soldadura, mecanismos roscables o tornillos que dan forma a la ruta que debe seguir el fluido térmico o el agua, para lograr la transferencia de calor y la alimentación al generador de vapor respectivamente.

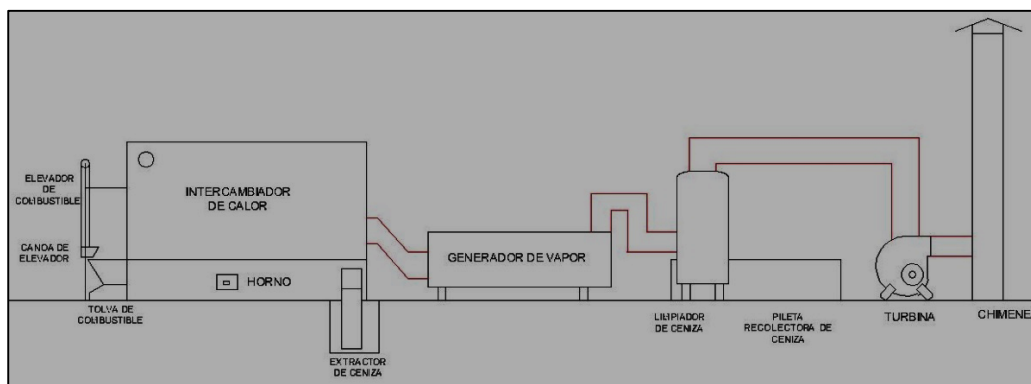
### **3.12.16. Suavizador de agua**

El generador de vapor necesita agua libre de sales debido a que la propiedad alcalina del agua puede generar incrustaciones en la tubería y en el generador de vapor, reduciendo la eficiencia de la transferencia de calor, por ello se debe bajar los grados de dureza. Este trabajo lo realiza el suavizador de agua utilizando sal industrial como agente que reduce la presencia de minerales en el compuesto.

### 3.13. Diagrama de equipos

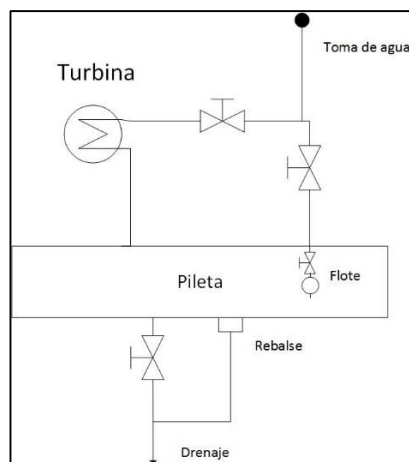
A continuación se muestran algunos diagramas de equipos que ayudan a familiarizarse y a entender el modo como trabaja la caldera.

Figura 95. **Diagrama general de caldera**



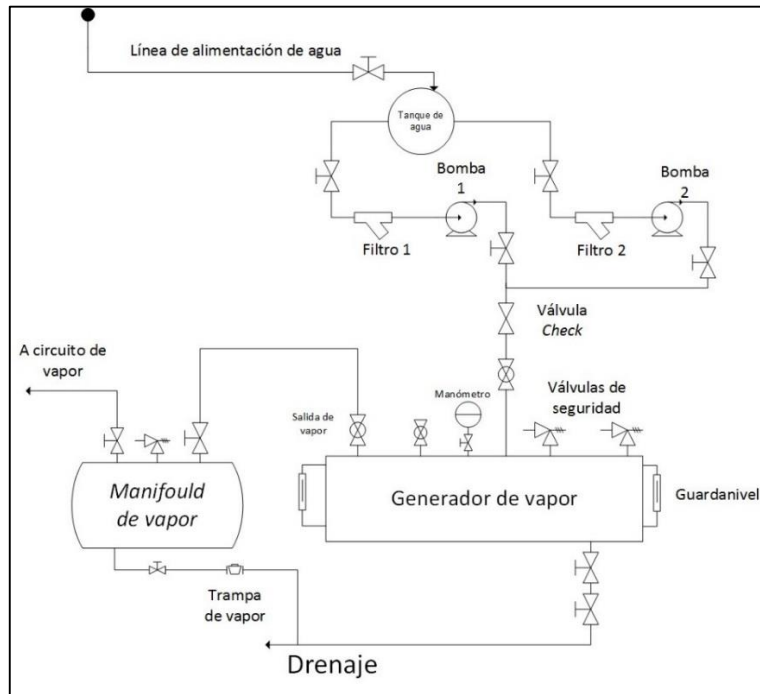
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 96. **Diagrama del sistema de refrigeración de turbina**



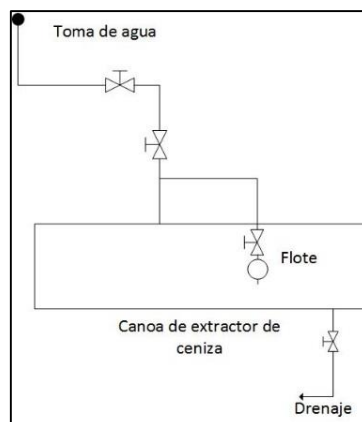
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

Figura 97. **Diagrama de agua y vapor**



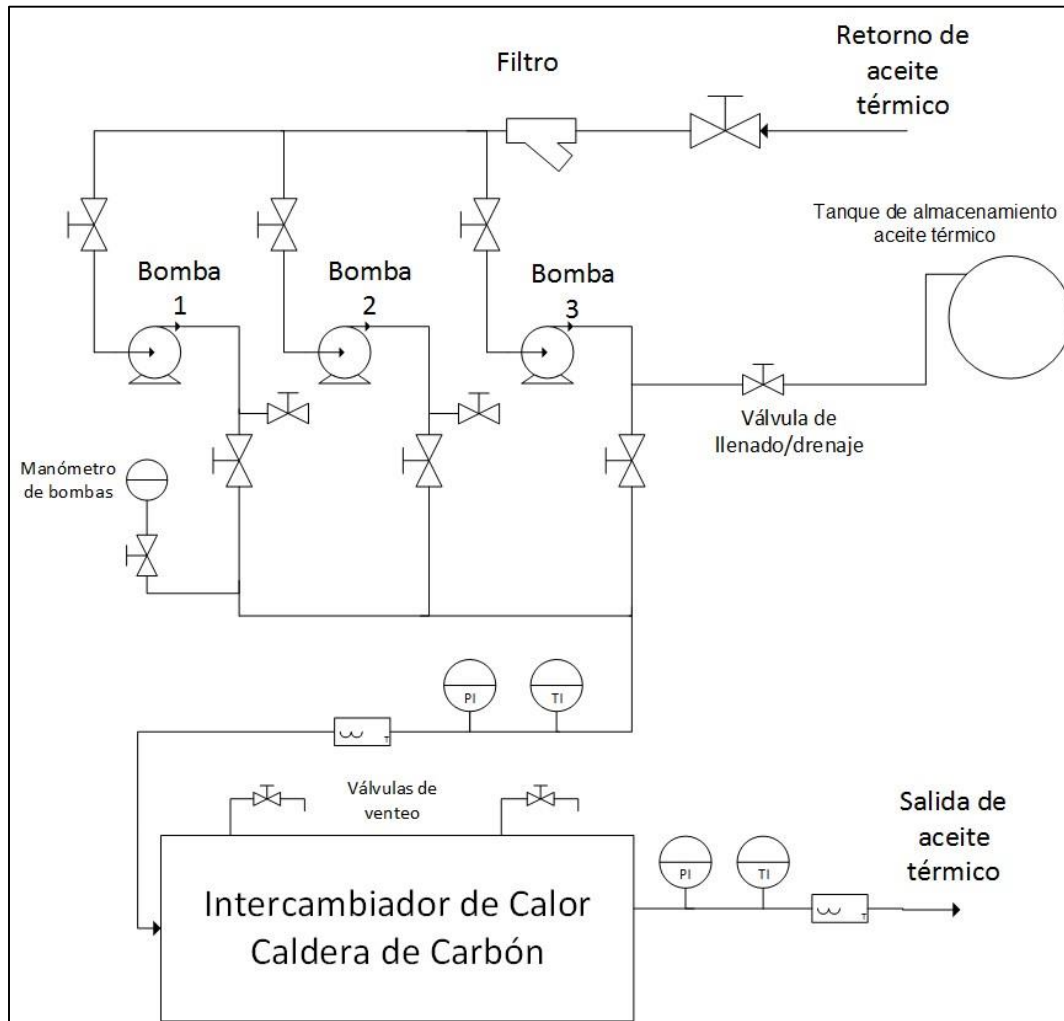
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

Figura 98. **Diagrama del extractor de cenizas**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

Figura 99. Diagrama de aceite térmico



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.



### **3.14. Repuestos de remplazo**

En esta sección se presentan los elementos mecánicos cuyo tiempo de vida útil es bastante corto, por lo que ameritan el establecimiento de una reserva de repuestos para cuando fallen y sea necesario cambiarlos.

#### **3.14.1. Fajas**

Son una de las formas de transmisión de potencia más usadas, en la caldera se utilizan las siguientes fajas:

- 2 fajas A55: motorreductor del extractor de ceniza
- 2 fajas A-55: motorreductor del elevador de tolva
- 1 fajas A 1200 LI/1230 LD: motorreductor de la banda transportadora

#### **3.14.2. Cadenas**

Otro de los medios de transmisión de potencia son las cadenas, pero la eficiencia de la transmisión de estas supera a los otros métodos. La máquina cuenta con las siguientes cadenas.

- 1 cadena 80-1: en caja reductora extractor de ceniza
- 1 cadena de carga: extractor de ceniza

### **3.14.3. Poleas**

Las poleas son un punto de apoyo del mecanismo de transmisión de potencia a través de fajas. La máquina cuenta con las siguientes poleas:

- Motorreductor de extractor de ceniza
  - 1 polea doble ranura tipo A de 4" diámetro
  - 1 polea doble ranura tipo A de 9" diámetro
  
- Motorreductor de banda transportadora
  - 1 polea doble ranura tipo A de 4" diámetro
  - 1 polea doble ranura tipo A de 9 1/2" diámetro
  
- Motorreductor de elevador de tolva
  - 1 polea doble ranura tipo A de 4" diámetro
  - 1 polea doble ranura tipo A de 6" diámetro

Otros elementos muy importantes en la caldera son los rodamientos de la banda transportadora. En la banda están montados cuatro rodamientos 22211 en el interior de la banda.

## 4. IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN

### 4.1. Operación

Luego que se finalizó el montaje de todos los elementos de la caldera de carbón-biomasa, viene la fase en la que se realizan las pruebas previas al arranque. Antes de esto se presenta el procedimiento de operación de la caldera para cada arranque.

#### 4.1.1. Procedimiento de operación

Se presentará ahora el procedimiento de operación y arranque que detalla cada uno de las tareas a seguir con sus respectivos tiempos.

Tabla LV. **Procedimiento de arranque**

| Procedimiento  |                                      |               |          |
|----------------|--------------------------------------|---------------|----------|
| Proceso:       | Arranque de caldera                  |               |          |
| Empresa:       | Textiles de Sur Internacional, S. A. | Departamento: | Calderas |
| Analizado por: | Francisco Castillo                   | Fecha:        | abr-2015 |

| Paso | Actividad                                   | Duración |
|------|---------------------------------------------|----------|
| 1    | Activar <i>flip-on</i> principal            | 3 min    |
| 2    | Activar <i>flip-on</i> de panel             | 1 min    |
| 3.1  | Encender una bomba para circular aceite     | 60 min   |
| 3.2  | Llenar la tolva de carbón                   | 25 min   |
| 3.3  | Llenar de agua pileta                       | 30 min   |
| 3.4  | Llenar de agua canoa de extractor de ceniza | 10 min   |
| 3.5  | Llenar tanque de agua                       | 10 min   |

Continuación de la tabla LV.

|    |                                                            |         |
|----|------------------------------------------------------------|---------|
| 4  | Poner selector en manual                                   | 1 min   |
| 5  | Encender extractor de ceniza                               | 0,5 min |
| 6  | Encender banda transportadora                              | 0,5 min |
| 7  | Hacer cama de carbón hasta primera compuerta               | 20 min  |
| 8  | Detener banda y extractor                                  | 1 min   |
| 9  | Agregar agua al generador de vapor hasta la mitad de nivel | 35 min  |
| 10 | Generar fuego dentro de la caldera                         | 5 min   |
| 11 | Esperar a que se forme braza (banda detenida)              | 15 min  |
| 12 | Cambiar selector a automático                              | 1 min   |
| 13 | Poner en marcha lenta la banda transportadora              | 1 min   |
| 14 | Alimentar caldera hasta llegar a temperatura adecuada      | 90 min  |

Fuente: elaboración propia.

- El tiempo puede variar en función de la calidad del carbón (granulometría).
- Alimentar combustible por la primera compuerta ayuda a elevar más rápido la temperatura.
- Poner la banda en marcha rápida también ayuda que la temperatura aumente.
- Encender las dos bombas de aceite térmico hace que la temperatura también aumente rápidamente.

Tabla LVI. **Procedimiento de paro**

| Procedimiento  |                                      |                        |
|----------------|--------------------------------------|------------------------|
| Proceso:       | Paro de caldera                      |                        |
| Empresa:       | Textiles de Sur Internacional, S. A. | Departamento: Calderas |
| Analizado por: | Francisco Castillo                   | Fecha: abr-2015        |

| Paso | Actividad                                                   | Duración |
|------|-------------------------------------------------------------|----------|
| 1    | Verificar que esté vacía la tolva y la banda transportadora | 1 min    |
| 2    | Abrir compuertas para que disminuya la temperatura          | 2 min    |
| 3    | Vaciar generador de vapor                                   | 10 min   |
| 4    | Cuando la temperatura baje a 125 °C, apagar bombas          | 100 min  |
| 5    | Abrir válvulas de drenaje de pileta para vaciarla           | 8 min    |
| 6    | Apagar sistema colocando selector al centro                 | 1 min    |
| 7    | Desactivar <i>flip-on</i> de panel                          | 1 min    |
| 8    | Desactivar <i>flip-on</i> principal                         | 2 min    |

Fuente: elaboración propia.

- Se puede circular agua al generador de vapor con las llaves de drenaje abiertas para que la temperatura descienda más rápido.

#### **4.1.2. Periodo de prueba y arranque**

La caldera se terminó de armar y a continuación fue momento de hacer algunas pruebas finales y ajustar ciertos elementos para garantizar un arranque adecuado.

##### **4.1.2.1. Prueba de fugas**

Para determinar si existía alguna soldadura con poros por donde pudieran generarse fugas de aceite a corto y mediano plazo, se utilizó la prueba de jabón y aire comprimido.

Esta prueba consiste en introducir agua con jabón a la línea que se desea examinar y con presión de aire expandir el agua en el interior de la cañería. Luego, se identifican las soldaduras con fugas porque es notorio el escape de agua con jabón en esos puntos, a partir de aquí se logró reforzar la soldadura que tenía presencia de fugas.

##### **4.1.2.2. Aplicación de cemento refractario**

El movimiento que el horno y el intercambiador de la caldera tuvieron al momento del montaje hizo que parte del cemento refractario se desprendiera, dejando las paredes internas de estos elementos debilitados y con muy pocas probabilidades de realizar su función a plenitud. Por ello, se restauró y reforzó con más cemento refractario aquellos segmentos del intercambiador con alguna clase de grieta o abolladura. Esto con el fin también de aumentar la eficiencia de la caldera y de aprovechar al máximo la energía evitando la transferencia al ambiente.

#### 4.1.2.3. Aceite térmico

Debido a que la red de aceite térmico creció con el montaje de la caldera de carbón-biomasa, fue necesario agregar fluido térmico a la tubería para nivelar y equilibrar el circuito térmico.

El proceso de introducirlo a la tubería inicia con el vaciado de los toneles del mismo al tanque subterráneo, de aquí una bomba hace el proceso de llevar el aceite al interior de la tubería de la caldera.

Tabla LVII. **Fluido térmico comprado**

| Cantidad                                                            | Unidad de medida | Nombre         | Nombre comercial                 |
|---------------------------------------------------------------------|------------------|----------------|----------------------------------|
| 16                                                                  | Toneles          | Aceite térmico | Uno Heat Thermic 32 Transfer Oil |
| Cantidad equivalente a 880 gal. Conversión utilizada (55 gal/tonel) |                  |                |                                  |

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.3. Combustibles

La caldera de carbón-biomasa puede ser alimentada tanto por carbón mineral como por biomasa, materia orgánica con un poder calorífico adecuado. En este apartado se describen y presentan los aspectos técnicos más importantes de los combustibles o materiales empleados en el proceso de combustión de la caldera.

#### **4.1.3.1. Carbón mineral**

Es un combustible fósil en forma de roca que está formado por un gran porcentaje de carbono y pequeñas cantidades de elementos como el azufre, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.

Se forma de la descomposición de vegetales que se acumulan en zonas pantanosas. Luego, estos residuos son aislados de la degradación del oxígeno por medio de agua. Con el tiempo, se produce un aumento progresivo del carbono, proceso llamado carbonización, y se generan depósitos de arcilla alrededor del mismo.

El carbón se puede categorizar en función del porcentaje de carbono que contiene, este depende de la evolución geológica y biológica que ha experimentado el carbón:

- Turba (50 a 55 %): producto de la fosilización de desechos vegetales por los microorganismos en zonas húmedas y pobres en oxígeno.
- Lignito (55 a 75 %) o carbón café: de característica suave.
- Carbón subbituminoso o lignito negro.
- Hulla (75 a 90 %): hulla grasa o carbón bituminoso bajo en volátiles, tipo de carbón más corriente.
  - Hulla semigrasa
  - Hulla delgada o hulla seca
- Antracita (90 a 95 %): el que tiene mayor proporción de carbono.
- Grafito: carbono puro, no utilizado como combustible.



Tabla LVIII.      **Carbón**

| <b>Datos técnicos</b> |                |
|-----------------------|----------------|
| Nombre de material    | Carbón mineral |
| Poder calorífico      | 6 200 kcal/kg  |
| Peso de carretilla    | 50 kg          |

Fuente: elaboración propia.

Figura 100.      **Carretilla de carbón mineral**



Fuente: Textisur.

#### **4.1.3.2.      Madera**

Es una sustancia dura y fibrosa que forma el tronco y las ramas de los árboles. En composición media se constituye de un 50 % de carbono (C), 42 % de oxígeno (O), 6 % de hidrógeno (H) y el 2 % restante de nitrógeno (N) y otros elementos.

Las características de la madera varían según la especie del árbol origen aún así, hay algunas características cualitativas comunes a casi todas las maderas. Tiene un comportamiento higroscópico, pudiendo absorber humedad tanto del ambiente como en caso de inmersión en agua.

La polaridad de la madera le hace afín con otros productos polares como agua, barnices, pegamentos con base de agua, entre otros. La densidad de la madera varía notablemente entre especies. Una vez secas, hay especies que apenas alcanzan los  $300 \text{ kg/m}^3$  (*Cecropia adenopus*), mientras que otras pueden llegar a superar los  $1\,200 \text{ kg/m}^3$  (*Schinopsis balansae*). No obstante, la densidad habitual de la mayoría de especies se encuentra entre los 500 y los  $800 \text{ kg/m}^3$  (peso seco). La densidad también puede variar significativamente en una misma especie o incluso en un mismo árbol, en función de la altura del fuste y de la distancia al centro del tronco.

Figura 101. **Carretilla de madera peletizada**



Fuente: Textisur.

En la caldera se utilizó madera peletizada, es decir, madera triturada mecánicamente en pedazos pequeños. Esto se hace con el objeto de aprovechar al máximo la energía contenida en la materia orgánica. Para este proceso se disponía de una máquina que trituraba trozos de madera por medio de un mecanismo hidráulico de cuchillas de alta capacidad.

Figura 102. **Peletizadora de madera**



Fuente: Textisur.

Tabla LIX. **Madera peletizada**

| Datos técnicos     |                   |
|--------------------|-------------------|
| Nombre de material | Madera peletizada |
| Poder calorífico   | 1 800 kcal/kg     |
| Peso de carretilla | 30 kg             |

Fuente: elaboración propia.

Debido a la humedad que absorbe este material, no es muy recomendable utilizarlo como combustible de consumo primario. Puede funcionar como material de aporte para ayudar a elevar la temperatura del horno, aunque debido a su baja densidad y peso, resulta volátil y poco eficiente.

#### **4.1.3.3. Raquis de palma africana**

La palma africana es una planta tropical propia de climas cálidos cuyo origen se ubica en la región occidental y central del continente africano. La palma africana ha sido utilizada desde la antigüedad para la obtención de

aceite. Produce dos tipos de aceite, el del fruto y el de la semilla, respectivamente. El aceite alimentario se comercializa como aceite comestible, margarina, cremas, entre otros, y el aceite industrial es utilizado para la fabricación de cosméticos, jabones, detergentes, velas, lubricantes, entre otros. El aceite de palma africana representa casi el 25 % de la producción de aceites vegetales en el mundo. Es considerado como el segundo aceite más ampliamente producido, solo superado por el aceite de soya.

La palma africana posee también una parte denominada raquis, que es una biomasa que puede emplearse como combustible. En la caldera de carbón-biomasa se empleó este producto por un tiempo, pero se detectaron varios problemas de operación. Uno es que, al igual que la madera, el raquis de la palma africana es un material higroscópico, por lo tanto, se tiene que invertir más energía para hacerlo arder por el contenido de humedad. Segundo, es muy difícil de manipular por los operadores porque se enreda. Tercero, su contenido energético no es bueno y se consume bastante rápido por ser demasiado volátil.

Figura 103. **Raquis de palma africana**



Fuente: Textisur.

Debido a esto no se recomienda su uso, al menos que se prepare el mismo empleando secadores para eliminar la humedad y que solamente se utilice como material auxiliar.

Tabla LX. **Raquis de palma africana**

| <b>Datos técnicos</b> |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| Nombre de material    | Raquis palma africana |
| Poder calorífico      | 1 237 kcal/kg         |
| Peso de carretilla    | 20 kg                 |

Fuente: Textisur.

#### **4.1.3.4. Algodón**

En la hilandería o hilatura de algodón las fibras del mismo pasan por varias etapas para llegar a crear el hilo que luego es empleado para producir las telas. En el capítulo dos se ve como en el proceso de producción del hilo, la fibra se transforma por medio de un conjunto de máquinas especializadas, al final de este proceso queda un sobrante de algodón denominado comúnmente borra o desperdicio de algodón.

Es este desperdicio el que se puede utilizar como combustible para alimentar la caldera, es un material que tiene un costo nulo y posee un poder calorífico aceptable. Se utiliza como material auxiliar con excelentes resultados al momento de elevar la temperatura del horno de la caldera. Uno de los puntos en contra es que es volátil y un agente contaminante del lugar de trabajo.

Tabla LXI. **Algodón**

| <b>Datos técnicos</b> |                        |
|-----------------------|------------------------|
| Nombre de material    | Desperdicio de algodón |
| Poder calorífico      | 3 980 kcal/kg          |
| Peso de bolsa         | 35 kg                  |

Fuente: Textisur.

#### **4.1.3.5. Otros combustibles**

Como otros materiales se puede considerar todo aquel producto que es posible introducir a la caldera y que aporta determinada cantidad de energía. Algunos de los materiales categorizados aquí son el cartón, la cáscara de macadamia y la cáscara de marañón.

Tabla LXII. **Datos de otros materiales**

| <b>Material</b>      | <b>Poder calorífico</b> |
|----------------------|-------------------------|
| Cascara de macadamia | 3 833 kcal/kg           |
| Cascara de marañón   | 3 444 kcal/kg           |

Fuente: Textisur.

#### **4.1.4. Consumo de combustible**

En este apartado se pretende controlar el consumo de combustible, sobre todo el consumo de carbón. Para ello se asiste de la teoría de inventarios para crear matemáticamente políticas de inventario con base en consumos históricos.

#### 4.1.4.1. Modelación de inventario de combustible

Usando la teoría de inventarios de los cursos de investigación de operaciones, se puede modelar el inventario del carbón.

Se utilizará el modelo determinístico de reabastecimiento inmediato sin faltantes. En este modelo se emplea la siguiente ecuación:

$$q^* = \sqrt{\frac{2rC_2}{C_1}}$$

Donde:

$q^*$  = cantidad optima a solicitar

$r$  = demanda o consumo

$C_1$  = costo por ordenar

$C_3$  = costo de inventario

Los datos con los que se trabajará el modelo son los siguientes. El consumo promedio de carbón es 4,52 Tm/día. El costo por ordenar de \$ 25, un costo típico por mantener inventario de 1 \$/Tm y el precio del carbón es 158,1 \$/Tm.<sup>9</sup>

Sustituyendo los datos en la ecuación se tiene que:

$$q^* = \sqrt{\frac{2(4,52)(25)}{1}}$$

---

<sup>9</sup> La estimación del costo de mantener una tonelada de carbón se hace tomando en cuenta los seguros asociados, la seguridad y vigilancia y el costo de oportunidad. Por su parte, el costo por ordenar incluye el costo de transporte de carbón y gastos administrativos.

$$q^* = 15,03 \text{ Tm}$$

Ahora, se buscará el tiempo óptimo entre pedidos  $t^*$  para la política de inventarios.

$$t^* = \sqrt{\frac{2C_3}{rC_1}}$$

$$t^* = \sqrt{\frac{2(25)}{(4,52)(1)}}$$

$$t^* = 3,32 \text{ días}$$

Por último, se encuentra el costo de adoptar esta política de inventarios, para ello se utiliza la siguiente ecuación.<sup>10</sup>

$$C_T = \frac{C_3 r}{q^*} + \frac{C_1 q^*}{2} + pr$$

Donde:

$q^*$  = cantidad óptima a solicitar

$r$  = demanda o consumo

$C_1$  = costo por ordenar

$C_3$  = costo de inventario

$p$  = precio

$C_T$  = costo total

---

<sup>10</sup> Frederick; LIEBERMAN, Gerald. *Introducción a la investigación de operaciones*. p. 772-776.



$$C_T = \frac{(25)(4,52)}{(15,03)} + \frac{(1)(15,03)}{2} + (158,1)(4,52)$$

$$C_T = \$ 759,63$$

En resumen la política de inventarios generada con este modelo arroja:

$$q^* = 15,03 \text{ Tm}$$

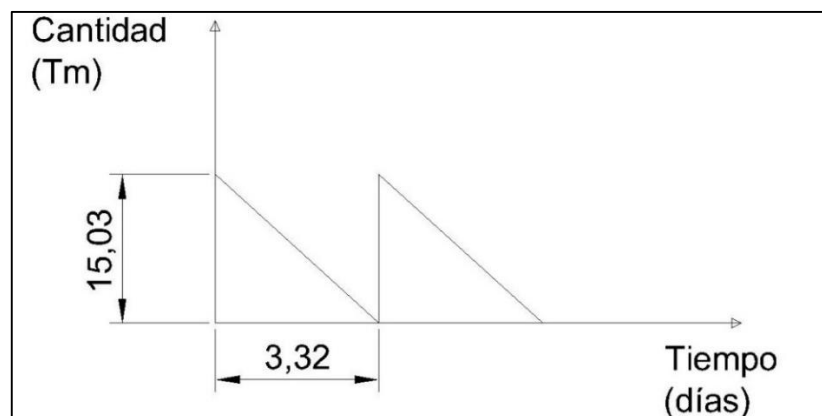
$$t^* = 3,32 \text{ días}$$

$$C_T = \$ 759,63$$

Lo que indica que aproximadamente cada 3 días hay que solicitar 15,03 toneladas de carbón, para mantener optimizado y en equilibrio los costos totales.

En la siguiente figura se muestra el modelo y los datos de la política de inventarios obtenidos de manera teórica.

Figura 104. **Gráfica del modelo de inventario**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.5. Análisis energético de combustibles

Se presenta un estudio comparativo de energía entre los diferentes combustibles empleados para alimentar la caldera de carbón-biomasa.

Tabla LXIII. Matriz de energética de combustibles

| Combustible | Poder calorífico |                 | Costo \$/Tm | Costo/1 000Kcal |        |
|-------------|------------------|-----------------|-------------|-----------------|--------|
| Carbón      | 24 604 Btu/kg    | 6 200 kcal/kg   | \$ 158,10   | \$ 0,026        | Q 0,20 |
| Madera      | 10 583 Btu/kg    | 2 400 kcal/kg   | \$ 58,06    | \$ 0,024        | Q 0,19 |
| Bunker *    | 142 000 Btu/gal  | 35 783 kcal/gal | \$ 2,15     | \$ 0,060        | Q 0,47 |
| Raquis      | 4 909 Btu/kg     | 1 237 kcal/kg   | \$ 58,22    | \$ 0,047        | Q 0,36 |
| Macadamia   | 15 210 Btu/gal   | 3 833 kcal/kg   | \$ 84,00    | \$ 0,022        | Q 0,17 |
| Algodón     | 15 794 Btu/gal   | 3 980 kcal/kg   | \$ 0,00     | \$ 0,000        | Q 0,00 |
| Marañón     | 13 669 Btu/gal   | 3 444 kcal/kg   | \$ 65,29    | \$ 0,019        | Q 0,15 |

Fuente: Textisur.

En la tabla LXII se muestra cómo el poder calorífico y el costo de los diferentes combustibles hacen posible la realización de un *mix* de materiales en búsqueda de optimizar el costo total, sin embargo, se ha determinado que el mejor combustible, por mucho, es el carbón, lo cual se refleja en su poder calorífico que es el mayor de todos los materiales y en el costo de cada 1 000 kcal. El segundo material que se recomendaría es la cáscara de macadamia por su buen nivel de energía y por su costo bastante aceptable.

#### 4.1.6. Ensayos de humedad en combustibles

Como se explicó anteriormente, hay algunos combustibles que son higroscópicos. Con fin de determinar en qué grado, se realizaron ensayos para medir la cantidad de humedad presente en los materiales.

Tabla LXIV. **Resultado del ensayo de humedad en raquis**

| Material                                                              | Raquis (Palma africana) |          |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------|
| Peso Inicial                                                          | Hora                    | Fecha    |
| 3,6 kg                                                                | 08:25:00                | 12/03/14 |
| Después de poner a secar el raquis al sol por 7 horas se apreció que: |                         |          |
| Peso final                                                            | Hora                    | Fecha    |
| 1,56 kg                                                               | 15:09:00                | 12/03/14 |
| Diferencia de peso                                                    | 2,04 kg                 |          |
| Porcentaje de peso perdido por humedad                                | 56,67                   |          |

Fuente: elaboración propia.

Tal y como se observa, más del 50 % del peso inicial de raquis es agua. Si este material se introduce así al horno de la caldera, la eficiencia del proceso disminuirá, ya que se requiere energía primero para evaporar el agua en el raquis y luego para hacerlo arder. Por ello no se recomienda su uso.

Figura 105. **Humedad en raquis de palma africana**



Fuente: Textisur.

Tabla LXV. **Resultado del ensayo de humedad en madera**

| Material                                                              | Madera peletizada |          |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------|----------|
| Peso Inicial                                                          | Hora              | Fecha    |
| 12,46 kg                                                              | 08:00:00          | 13/03/14 |
| Después de poner a secar la madera al sol por 7 horas se apreció que: |                   |          |
| Peso final                                                            | Hora              | Fecha    |
| 11,15 kg                                                              | 15:15:00          | 13/03/14 |
| Diferencia de peso                                                    | 1,31 kg           |          |
| Porcentaje de peso perdido por humedad                                | 10,51             |          |

Fuente: elaboración propia.

Este ejercicio muestra como la madera también absorbe humedad y por ende su uso extendido reduce la eficiencia de la máquina. La madera es un buen material de aporte cuando se encuentra totalmente seca.

#### 4.1.7. Seguridad industrial

En el rubro de la seguridad industrial, la operación en la caldera de carbón-biomasa no debe realizarse sin algunas normas de seguridad y el equipo de protección personal adecuado.

- Equipo de protección personal para operar caldera carbón-biomasa
  - Careta transparente de protección facial
  - Gafas de protección claras
  - Gafas de protección oscuras

- Guantes de cuero
  - Mangas
  - Gabacha
  - Cinturón de protección lumbar
- Normas de seguridad industrial
    - Emplear en todo momento el equipo de protección personal.
    - No abrir las escotillas cuando la máquina este en calentamiento.
    - Colocar el rastrillo agitador de carbón en posición vertical cuando no se utilice.
    - No tocar superficie externa del horno ni del generador de vapor.
    - Descargar la canoa de combustible a la tolva lentamente para evitar descarrilamiento del tren guiador.

#### **4.1.8. Aislamiento térmico**

Para evitar que el calor que se transmite sea ineficiente, la tubería se cubrió con un aislante térmico. Este aislante con alta resistencia térmica permite aumentar la eficiencia del proceso de calentamiento continuo del fluido y protege a las personas del contacto directo con las diferentes tuberías. El aislante térmico empleado para cubrir la red de tuberías de la caldera de carbón-biomasa es del tipo fibra con recubrimiento de aluminio. En la figura 106 se observa parte de la tubería cubierta con el aislante

Figura 106. **Tubería con aislante térmico**



Fuente: Textisur.

#### 4.2. **Plan de mantenimiento**

Se ha diseñado un plan de mantenimiento que contempla la manera en que se procura que el equipo esté condiciones adecuadas para trabajar. La siguiente cartilla de mantenimiento muestra las actividades que se deben realizar cada vez que la caldera trabaja continuamente.

Tabla LXVI. **Plan de mantenimiento**

| <b>Rutina semanal</b>                 |                                     |                  |
|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| <b>Actividad</b>                      | <b>Material y equipo a utilizar</b> | <b>Encargado</b> |
| Limpiar ceniza de piletta             | Palas, carretas y escobas           | Operadores       |
| Limpiar ceniza de extractor           | Baldes vacíos, palas                | Operadores       |
| Sopletear escotillas superiores       | Aire comprimido                     | Operadores       |
| Remover la ceniza pegada a la turbina | Pala y espátula con extensión       | Operadores       |
| Limpiar ceniza en base de chimenea    | Palas                               | Operadores       |
| Lubricar cadenas                      | Aceite lubricante                   | Operadores       |

Continuación de la tabla LXVI.

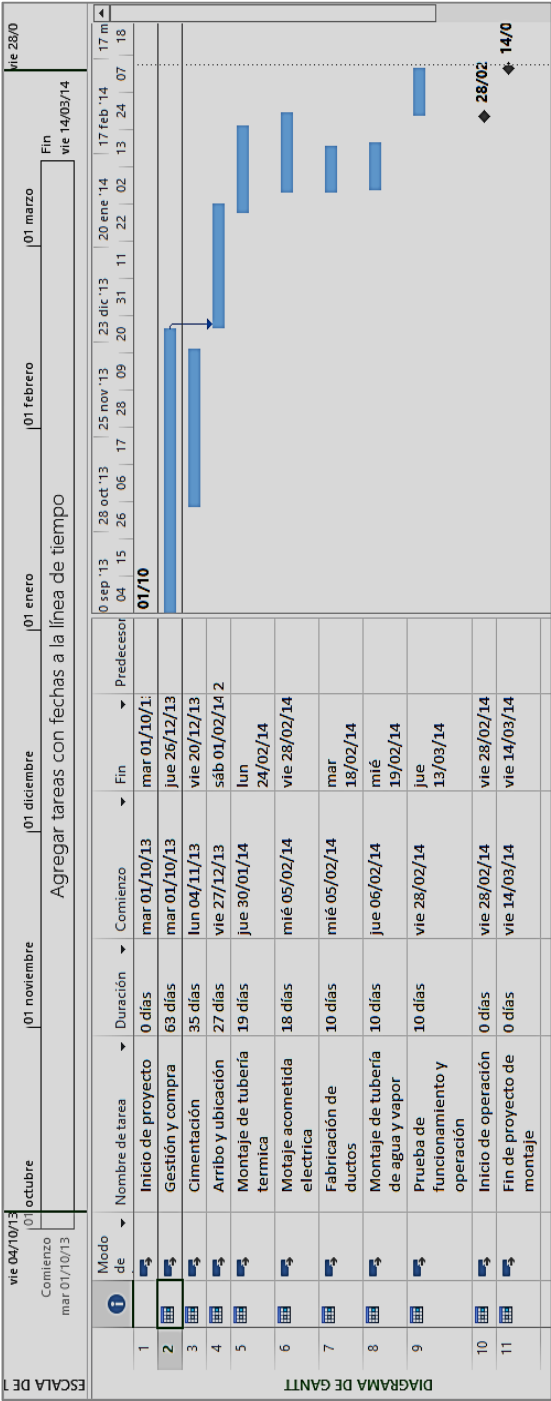
|                                                 |                                     |                  |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| Revisar nivel de aceite de cajas reductoras     |                                     | Operadores       |
| Sopletear tablero eléctrico                     | Aire comprimido                     | Electricistas    |
| Engrasar rodamientos BT                         | Grasa alta temperatura              | Operadores       |
| <b>Rutina Mensual</b>                           |                                     |                  |
| <b>Actividad</b>                                | <b>Material y equipo a utilizar</b> | <b>Encargado</b> |
| Apretar bornas de tablero eléctrico             | Destornillador                      | Electricistas    |
| Revisión de cemento refractario                 |                                     | Operadores       |
| Sopletear ventiladores de motores               | Aire comprimido                     | Electricistas    |
| Nivelación de aceite cajas reductoras           | Aceite lubricante                   | Operadores       |
| Revisar funcionamiento de válvulas de seguridad |                                     | Operadores       |
| Engrasar acoplamiento bombas de circulación     | Grasa alta temperatura              | Operadores       |
| <b>Rutina anual</b>                             |                                     |                  |
| <b>Actividad</b>                                | <b>Material y equipo a utilizar</b> | <b>Encargado</b> |
| Cambiar rodamientos a motores de bombas         | Rodamientos, grasa                  | Mecánicos        |
| Cambiar empaques de flanges (bridas) dañados    | Empaque, silicón                    | Calderistas      |
| Cambiar rodamientos a motores de bombas de agua | Rodamientos, grasa                  | Mecánicos        |
| Revisar o cambiar acoplamientos de bombas       | Acoples estrella                    | Mecánicos        |
| Engrasar válvulas de compuerta                  | Grasa de uso general                | Operadores       |

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3. Gantt de proyecto

El desarrollo del proyecto del montaje de la caldera da carbón-biomasa puede visualizarse de mejor manera en un diagrama de Gantt.

Figura 107. Diagrama de Gantt del proyecto



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Project.



#### **4.4. Análisis económico financiero (costos)**

Se presentan los costos en que se incurrió por el montaje de la caldera que posteriormente servirá para calcular la rentabilidad y el tiempo de retorno de la inversión. Estos costos incluyen el montaje y operación de los primeros dos meses del proyecto.

Se toma una tasa de cambio de 7,65 Q / \$.

##### **4.4.1. Partes de máquina y servicios subcontractados**

La tabla LXVII presenta el costo de las partes de la máquina, los servicios de grúa y fabricación de ductos, incurridos en el montaje.

Tabla LXVII. **Costo de partes y servicios**

| <b>Descripción</b>                  | <b>Costo (Q)</b> | <b>Costo (\$)</b> |
|-------------------------------------|------------------|-------------------|
| Partes de caldera de carbón-biomasa | 1 078 178,76     | 140 938,40        |
| Servicio de grúa                    | 24 470,00        | 3 198,69          |
| Servicio fabricación de ductos      | 34 220,00        | 4 473,20          |
| Total                               | 1 136 868,76     | 148 610,29        |

Fuente: Textisur.

##### **4.4.2. Mano de obra**

La mano de obra directa para el montaje de la caldera se ahorró porque los técnicos de la empresa fueron los mismos que en su horario de trabajo instalaron desde la tubería térmica hasta la acometida eléctrica. Se pudo haber incurrido en costos adicionales por más horas extras en el periodo de montaje pero esto es un costo no muy significativo para fines de valuación del proyecto.

#### 4.4.3. Materiales y suministros

Los costos de materiales y suministros utilizados para montar la máquina se presentan en la siguiente tabla.

Tabla LXVIII. Costo de materiales y suministros

| Descripción                 | Costo (Q)  | Costo (\$) |
|-----------------------------|------------|------------|
| Ferretería                  | 33 177,00  | 4 336,86   |
| Aceite térmico              | 144 870,00 | 18 937,25  |
| Material eléctrico          | 38 831,52  | 5 076,02   |
| Tubería para agua y vapor   | 3 544,00   | 463,27     |
| Tubería para aceite térmico | 44 724,03  | 5 846,28   |
| Cemento refractario         | 2 262,00   | 295,69     |
| Total                       | 267 408,55 | 34 955,37  |

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.4. Costo de montaje

El resumen de los costos asociados al montaje y puesta en marcha de la caldera, se observan en la tabla LXIX.

Tabla LXIX. Costo de montaje de caldera

| Descripción              | Costo (Q)    | Costo (\$) |
|--------------------------|--------------|------------|
| Máquina y servicios      | 1 135 868,76 | 148 610,29 |
| Materiales y suministros | 267 408,55   | 34 955,37  |
| Total (inversión)        | 1 403 277,31 | 183 565,66 |

Fuente: elaboración propia.

#### 4.5. Costos de operación: carbón-biomasa vs. bunker

Aquí se realiza un ejercicio comparativo entre lo que significa trabajar con la caldera de carbón-biomasa y lo que significaría trabajar con bunker. Para ejemplificar este punto se tomará como base el día miércoles 30 de julio de 2014. Se sabe que el precio del carbón es de 158,1 \$/Tm y ese día la planta trabajó con la siguiente carga de máquinas que utilizan temperatura:

- Rama Monforts 2: 12 horas
- Rama Monforts 3: 24 horas
- Tumbler Thies: 2 horas
- Estampadora Buser: 10 horas
  
- Consumo de carbón: 9 060 kg
  - Escenario: caldera de carbón-biomasa

Costo de material = consumo\*precio de carbón

Costo de material = (9,06) (158,1)

Costo de material (carbón) = \$ 1 432,39

- Costo de energía eléctrica

Tabla LXX. **Costo de energía caldera de carbón-biomasa**

| Ctd                        | Equipo                        | Potencia (kW) | Régimen (min/hora) | Factor de utilización | kWh       |
|----------------------------|-------------------------------|---------------|--------------------|-----------------------|-----------|
| 2                          | Motor bomba de aceite térmico | 45            | 60                 | 1                     | 90,00     |
| 1                          | Motor bomba de agua           | 5,5           | 10                 | 0,17                  | 0,92      |
| 1                          | Motor soplador <i>blower</i>  | 15            | 50                 | 0,83                  | 12,50     |
| 1                          | Motor de turbina de chimenea  | 45            | 50                 | 0,83                  | 37,50     |
| 1                          | Motor extractor de ceniza     | 1,1           | 50                 | 0,83                  | 0,92      |
| 1                          | Motor banda transportadora    | 0,85          | 50                 | 0,83                  | 0,71      |
| 1                          | Motor elevador de tolva       | 2,2           | 10                 | 0,17                  | 0,37      |
|                            |                               | Total kWh     |                    |                       | 142,91    |
| Horas por día: 24          |                               | Total kWh-día |                    |                       | 3 429,80  |
| Tarifa                     |                               | 0,14          | \$/kWh             |                       |           |
| Costo de energía eléctrica |                               |               |                    |                       | \$ 480,14 |

Fuente: elaboración propia.

- Costo de mantenimiento anual

Tabla LXXI. **Costo de mantenimiento**

|                              | Caldera     |                |
|------------------------------|-------------|----------------|
|                              | Bunker      | Carbón-Biomasa |
| Mano de obra                 | \$ 500,00   | \$ 300,00      |
| Rodamientos                  | \$ 500,00   | \$ 300,00      |
| Grasas y lubricantes         | \$ 100,00   | \$ 100,00      |
| Fajas y cadenas              | \$ 25,00    | \$ 75,00       |
| Otros materiales y repuestos | \$ 200,00   | \$ 150,00      |
| Costo total anual            | \$ 1 325,00 | \$ 925,00      |
| Costo por día                | \$ 3,63     | \$ 2,53        |

Fuente: Textisur

Costo de operación = costo de material + costo de energía eléctrica + costo de mantenimiento.

$$\text{Costo de operación} = 1\,432,39 + 480,14 + 2,53$$

$$\text{Costo de operación} = \$ 1\,915,06$$

- Escenario: caldera de bunker
  - Costo de material:

Lo primero que se debe hacer es encontrar la cantidad de energía que se requirió para trabajar con la demanda de máquinas ese día y a partir de allí, usando dos métodos se encontrará la cantidad de bunker que se hubiera necesitado y el costo del mismo.

El primer método toma como base la energía de la cantidad de material utilizado y el segundo las horas de operación.

- Empleando energía de material

Se encuentra la energía aportada por el carbón empleando los datos técnicos de poder calorífico (ver tabla LXIII). El factor de corrección para el carbón es de 0,90.

Energía utilizada = kg combustible \* Poder calorífico (carbón) \* Factor de corrección.

$$\text{Energía utilizada} = (9\,060) (6\,200) (0,90)$$

Energía utilizada = 50 554 000 kcal

Ahora, la energía se convierte en galones de bunker equivalente empleando la relación recíproca, se sabe por experiencia que un galón de bunker posee 35 783 kcal y el precio del mismo asciende a 2,15 \$/gal.

Galones equivalentes

(Usando energía de material) =  $50\,554\,000 / 35\,783$

Galones equivalentes

(Usando energía de material) = 1 497 gal

Costo de bunker =  $(1\,412) (2,15)$

Costo de bunker = \$ 3 037,55

- Empleando horas-máquina

Para hacer este cálculo se dispone de la información técnica de consumo energético de las máquinas instaladas en Textisur que emplean calor:

Tabla LXXII. **Consumo de energía térmica por máquina**

| <b>Máquina</b>  | <b>Tasa de consumo energético</b> |
|-----------------|-----------------------------------|
| Rama Famatex    | 750 000 kcal/h                    |
| Rama Monforts 1 | 750 000 kcal/h                    |
| Rama Monforts 2 | 1200 000 kcal/h                   |

Continuación de la tabla LXXII.

|                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| Rama Monforts 3    | 1200 000 kcal/h |
| Estampadora Zimmer | 450 000 kcal/h  |
| Estampadora Buser  | 450 000 kcal/h  |
| Thies Tumbler      | 300 000 kcal/h  |

Fuente: Textisur.

Conociendo las horas trabajadas en un día en específico se obtiene la cantidad demanda de energía.

Tabla LXXIII. **Energía demanda según horas-máquina**

| <b>Máquina</b>             | <b>Horas máquina</b> | <b>Tasa de consumo energético</b> | <b>Energía demanda (Kcal)/día</b> |
|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Rama Famatex               | 0                    | 750 000 kcal/h                    | 0                                 |
| Rama Monforts 1            | 0                    | 750 000 kcal/h                    | 0                                 |
| Rama Monforts 2            | 12                   | 1 200 000 kcal/h                  | 14 400 000                        |
| Rama Monforts 3            | 24                   | 1 200 000 kcal/h                  | 28 800 000                        |
| Estampadora Zimmer         | 0                    | 450 000 kcal/h                    | 0                                 |
| Estampadora Buser          | 10                   | 450 000 kcal/h                    | 4500 000                          |
| Thies Tumbler              | 2                    | 300 000 kcal/h                    | 600 000                           |
| Total de energía demandada |                      |                                   | 48 300 000                        |

Fuente: elaboración propia.

La energía se convierte en galones de bunker usando el poder calorífico del mismo.

Galones equivalentes

(Usando horas máquina) =  $48\,300\,000 / 35\,783$

Galones equivalentes

(Usando horas-máquina) = 1 350 gal

Costo de bunker = (1 350) (2,15)

Costo de bunker = \$ 2 902,50

Como se puede notar, hay una diferencia leve en el costo total para cada método, por fines prácticos se tomará en cuenta el costo mayor.

Costo de material (caldera de bunker) = \$ 3 037,55

- Costo de energía eléctrica:

Tabla LXXIV. Costo de energía caldera de bunker

| Ctd                        | Equipo                          | Potencia (kW) | Régimen (min/hora) | Factor de utilización | kWh       |
|----------------------------|---------------------------------|---------------|--------------------|-----------------------|-----------|
| 1                          | Motor soplador                  | 16,0          | 60                 | 1                     | 16,0      |
| 1                          | Motor bomba bunker alta presión | 5,5           | 60                 | 1                     | 5,5       |
| 1                          | Moto bomba bunker baja presión  | 1,5           | 60                 | 1                     | 1,5       |
| 1                          | Calentador de bunker            | 5,1           | 20                 | 033                   | 1,87      |
| 1                          | Motor bomba principal           | 41,6          | 60                 | 1                     | 41,6      |
| 1                          | Motor bomba circuito 1          | 45,0          | 60                 | 1                     | 45,0      |
| 1                          | Motor bomba circuito 2          | 45,0          | 60                 | 1                     | 45,0      |
| 1                          | Motor bomba circuito 3          | 45,0          | 60                 | 1                     | 45,0      |
|                            |                                 | Total kWh     |                    |                       | 201,47    |
| Horas por día: 24          |                                 | Total kWh-día |                    |                       | 4 835,28  |
| Tarifa                     |                                 | 0,14 \$/kWh   |                    |                       |           |
| Costo de energía eléctrica |                                 |               |                    |                       | \$ 676,93 |

Fuente: elaboración propia.



Costo de operación = costo de combustible + costo de energía eléctrica + costo de mantenimiento

Costo de operación = 3 037,55 + 676,93 + 3.63

Costo de operación = \$ 3 718,11

Se hace un resumen comparativo de los costos de cada tipo de caldera.

Tabla LXXV. **Resumen de costos de operación por día**

| <b>Caldera de carbón-biomasa</b>       |                    | <b>Caldera de bunker</b> |                    | <b>Carbón vs. bunker</b> |
|----------------------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|
| Combustible                            | \$ 1 432,39        | Combustible              | \$ 3 037,55        | - 52 %                   |
| Energía eléctrica                      | \$ 480,14          | Energía eléctrica        | \$ 676,93          | - 29 %                   |
| Mantenimiento                          | \$ 2.53            | Mantenimiento            | \$ 3,63            | -30 %                    |
| <b>Total</b>                           | <b>\$ 1 915,06</b> | <b>Total</b>             | <b>\$ 3 718,11</b> | <b>- 48 %</b>            |
| Opacidad promedio                      | 3                  | Opacidad promedio        | 4                  | 1                        |
| Eficiencia de combustión <sup>11</sup> | 70 %               | Eficiencia de combustión | 80 %               | -10 %                    |

Fuente: Textisur.

Es evidente que la eficiencia de combustión es menor en la caldera de carbón debido a que no todo el combustible llega a entregar toda su energía. Una de las razones por las que no se quema todo el combustible es porque el carbón a veces viene en forma de rocas sólidas, estas rocas solo se queman superficialmente mientras que en el interior se conserva energía que no se

<sup>11</sup> La eficiencia de combustión es igual a la energía total contenida por unidad de combustible menos la energía llevada por los gases de combustión y el combustible no quemado.

aprovecha. La opacidad y la eficiencia son valores promedios de estudios realizados con anterioridad utilizando el ORSAT en calderas semejantes.<sup>12</sup>

Cabe resaltar también que la opacidad en la caldera de carbón mejora mucho debido al separador ciclónico, si este elemento no estuviera instalado en la caldera, el valor de opacidad subiría hasta niveles no recomendados.

#### **4.6. Rentabilidad del proyecto**

En este apartado se calculará la rentabilidad del proyecto para lo cual se emplearan varias medidas de evaluación, cada una con sus características y propiedades que aportan información muy relevante.

Para determinar qué tan viable es un proyecto se utiliza la denominada TIR o tasa interna de retorno. La misma brindará la posibilidad de categorizar el proyecto en la bandeja de proyectos productivos o en la de no productivos.

Para encontrar la TIR se presenta el flujo de caja del proyecto y los costos de carbón y los costos de bunker para los primeros cinco meses del proyecto incluyendo la inversión o costo de montaje. Por ser el carbón el combustible líder se omiten los demás para este análisis. Se trabajará con una TMAR 12 % anual.<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> IZAGUIRRE, Edmer. *Ahorro de combustible fuel oil 6 (bunker) utilizado en calderas por medio de una mejora continua en la generación, distribución y uso del vapor en la industria de bebidas*. p. 81.

<sup>13</sup> TMAR: tasa mínima atractiva de retorno. Fijada por la empresa, considera el costo de oportunidad (10 %) y el riesgo (2 %).

Tabla LXXVI. Flujo de caja de proyecto

| Mes           | Inversión (\$) | Costo carbón (\$) | Costo bunker (\$) | Beneficio (diferencia bunker-carbón) |
|---------------|----------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|
| Febrero 2014  | 183 566        |                   |                   | -183 566                             |
| Marzo         |                | 15 020            | 31 851            | 16 831                               |
| Abril         |                | 11 638            | 24 679            | 13 042                               |
| Mayo          |                | 16 295            | 34 556            | 18 261                               |
| Junio         |                | 10 899            | 23 114            | 12 214                               |
| Julio         |                | 22 248            | 47 179            | 24 931                               |
| Agosto        |                | 15 813            | 33 534            | 17 721                               |
| Septiembre    |                | 18 773            | 39 810            | 21 037                               |
| Octubre       |                | 17 847            | 37 847            | 20 000                               |
| Noviembre     |                | 14 854            | 31 500            | 16 646                               |
| Diciembre     |                | 10 585            | 22 446            | 11 862                               |
| Enero 2015    |                | 13 559            | 28 753            | 15 194                               |
| Febrero       |                | 16 902            | 35 844            | 18 941                               |
| Total del año |                | 184 433           | 391 114           | 206 681                              |

Fuente: elaboración propia.

Primero se calcula el valor actual neto, utilizando la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_0 + d_1 \frac{1}{(1+i)^1} + d_2 \frac{1}{(1+i)^2} + \dots d_n \frac{1}{(1+i)^n}$$

Se tomará para el cálculo un periodo de un año donde  $i = TMAR$ .

$$VAN = -183\,566 + 206\,681 \frac{1}{(1+0,12)^1}$$

$$VAN_{@i=0,12} = 971$$

$$VAN_{@i=0,12} = VAN_{inf}$$

Un valor actual neto mayor a cero es primicia de que la inversión genera ganancias y que es un proyecto productivo.

Para calcular la TIR se encontrará el interés para el valor actual neto superior, este último es aquel donde se presenta el cambio de signo de positivo a negativo.

$$VAN_{sup} = -183\,566 + 206\,681 \frac{1}{(1 + 0,13)^1}$$

$$VAN_{sup} = -662$$

$$VAN_{@i=0,13} = VAN_{sup}$$

Con estos datos se puede encontrar la TIR, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$TIR = i_{inf} + (i_{sup} - i_{inf}) * \frac{VAN_{inf}}{VAN_{inf} + |VAN_{sup}|}$$

$$TIR = 0,12 + (0,13 - 0,12) * \frac{971}{971 + 662}$$

$$TIR = 0,126 = 12,6 \%$$

La TIR es una medida del porcentaje de recuperación de la inversión. Para el caso de la caldera de carbón la TIR es de 12,6 %, un valor que indica que el proyecto ha sido muy acertado para mejorar la economía de la empresa.

Beneficio mensual promedio

$$Beneficio\ promedio = 206\,681/12 = Q\,17\,223$$

*La tasa de retorno promedio = 17 223/183 566*

*La tasa de retorno promedio = 9,38 % mensual*

Tiempo de repago

Para visualizarlo se presenta un flujo de caja acumulado:

Tabla LXXVII. **Tiempo de repago**

| <b>Mes</b>        | <b>Inversión (\$)</b> | <b>Costo carbón (\$)</b> | <b>Costo bunker (\$)</b> | <b>Beneficio (diferencia bunker-carbón)</b> | <b>Flujo de caja acumulado</b> |
|-------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------|
| Febrero 2014      | 183 566               |                          |                          | -183 566                                    | -183 566                       |
| Marzo             |                       | 15 020                   | 31 851                   | 16 831                                      | -166 734                       |
| Abril             |                       | 11 638                   | 24 679                   | 13 042                                      | -153 693                       |
| Mayo              |                       | 16 295                   | 34 556                   | 18 261                                      | -135 432                       |
| Junio             |                       | 10 899                   | 23 114                   | 12 214                                      | -123 218                       |
| Julio             |                       | 22 248                   | 47 179                   | 24 931                                      | -98 286                        |
| Agosto            |                       | 15 813                   | 33 534                   | 17 721                                      | -80 566                        |
| Septiembre        |                       | 18 773                   | 39 810                   | 21 037                                      | -59 528                        |
| Octubre           |                       | 17 847                   | 37 847                   | 20 000                                      | -39 528                        |
| Noviembre         |                       | 14 854                   | 31 500                   | 16 646                                      | -22 882                        |
| Diciembre         |                       | 10 585                   | 22 446                   | 11 862                                      | -11 021                        |
| <b>Enero 2015</b> |                       | <b>13 559</b>            | <b>28 753</b>            | <b>15 194</b>                               | <b>4 174</b>                   |
| Febrero           |                       | 16 902                   | 35 844                   | 18 941                                      | 23 115                         |

Fuente: elaboración propia.

La tabla muestra que entre diciembre de 2014 y enero de 2015, los beneficios cubren el total de la inversión, esto significa que en más o menos diez meses se recupera la cantidad de dinero invertida.

#### **4.7. Verificación de hipótesis**

Con los resultados obtenidos en la sección de costos se puede hacer una verificación de la hipótesis inicial del proyecto. La hipótesis es:

Utilizando la caldera de carbón y biomasa la rentabilidad de producir temperatura y vapor para los procesos productivos aumenta en un 60 % con respecto a las calderas de bunker.

Desde donde se le vea, el proyecto es muy rentable, ahora para saber qué tan rentable es, se recurre a la tabla LXIV, en ella se observa que el costo total de operar la caldera de carbón para generar temperatura y vapor mejora en un 48 %, lo que es un 12 % menos de lo que se había enunciado en la hipótesis. La hipótesis debe ser corregida y debe quedar de la siguiente forma:

Utilizando la caldera de carbón y biomasa la rentabilidad de producir temperatura y vapor para los procesos productivos aumenta en un 48 % con respecto a las calderas de bunker.

## **5. MEJORA CONTINUA**

### **5.1. Recomendaciones para mejorar**

Para que el proyecto sea cada vez mejor, se presentan algunas recomendaciones de índole técnico que son aplicables a la caldera:

- Crear una bitácora diaria de sucesos relevantes en la caldera, incluyendo mantenimientos, fallas mecánicas, eléctricas, entre otros.
- Identificar los puntos de lubricación con viñetas que muestren el tipo de lubricante a emplear y la frecuencia de lubricación.
- Controlar día a día el consumo de carbón y relacionarlo con la demanda de producción.
- Crear un formato para controlar cada una o dos horas qué máquinas que utilizan temperatura están trabajando.
- Formar una comunicación efectiva entre Producción y el Departamento de Calderas Térmicas para mantener la máquina en la temperatura requerida sin sobrestimar o subestimar el consumo de combustible.

### **5.2. Evaluaciones**

Las evaluaciones deben ser medidas que se deben tomar para mejorar la eficiencia del personal y de la operación. Algunas de las evaluaciones que se deben de implementar son:

- Evaluar el consumo de combustible por turno.

- Evaluación del consumo de combustible en función de la carga de máquinas que requieren temperatura.
- Evaluar al personal en cuanto a sus actitudes y conocimiento sobre las labores que debe desempeñar.
- Evaluar las condiciones de operación como temperatura y presión de entrada y salida de aceite térmico, amperaje, temperatura de gases de combustión y presión de vapor.

### 5.3. Estándares

Un estándar es un modelo o patrón que debe usarse como referencia para realizar determinada actividad. En la caldera se han creado varios estándares, en la siguiente tabla se presentan los mismos y sus magnitudes.

Tabla LXXVIII. Estándares

| Nombre                                                         | Valor      |
|----------------------------------------------------------------|------------|
| Peso neto carreta de carbón                                    | 50 kg      |
| Cantidad de carretas por canoa                                 | 4 carretas |
| Cantidad de carretas por tolva                                 | 6 carretas |
| Tiempo de circulación de aceite previo a un arranque           | 45 minutos |
| Temperatura de aceite mínima para apagar bombas de circulación | 100 °C     |
| Temperatura de paro de máquina                                 | 265 °C     |
| Temperatura de arranque de máquina                             | 245 °C     |

Fuente: elaboración propia.

Se ha elaborado también una matriz que sirve de estándar para los operadores en pro de determinar la cantidad de carretas por hora que se deben



consumir, en función de las máquinas que están trabajando en producción. Las mismas se presentan en el apéndice.

#### **5.4. Indicadores**

Se presentan algunos indicadores que deben ser controlados para monitorear la operación de la caldera. Se presentan los datos y las relaciones entre consumo de combustible y producción, en el periodo de julio a octubre de 2014. Los indicadores son:

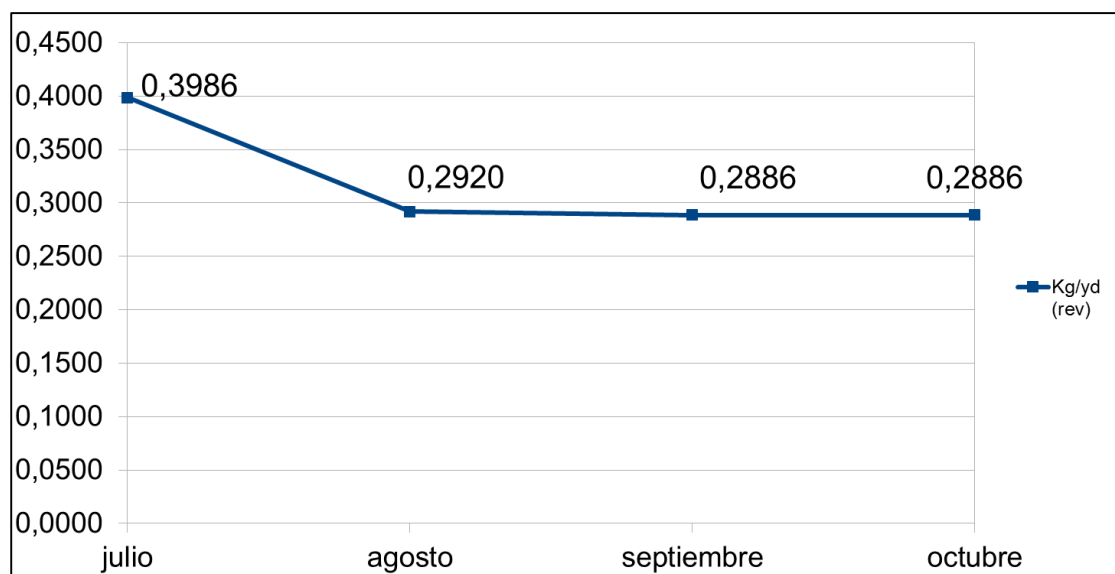
- Indicador 1: kilogramos de combustible por yardas netas
- Indicador 2: kilogramos de combustible por yardas ramadas
- Indicador 3: yardas netas por kilogramos de combustible
- Indicador 4: yardas ramadas por kilogramos de combustible
- Indicador 5: costo de yarda neta (revisada)
- Indicador 6: costo de yarda ramada

Tabla LXXIX. **Indicador 1**

| Mes        | Kg      |         | Indicador<br>kg/yd (rev) | Producción                 |                 |
|------------|---------|---------|--------------------------|----------------------------|-----------------|
|            | Carbón  | Totales |                          | (yd)<br>Producción<br>Neta | (yd) en<br>Rama |
| Julio      | 140 720 | 140 720 | 0,3986                   | 353 002                    | 545 625         |
| Agosto     | 100 020 | 100 020 | 0,2920                   | 342 573                    | 503 691         |
| Septiembre | 118 740 | 118 740 | 0,2886                   | 411 387                    | 708 915         |
| Octubre    | 99 905  | 99 905  | 0,2886                   | 346 120                    | 630 387         |

Fuente: Textisur.

Figura 108. **Indicador 1**



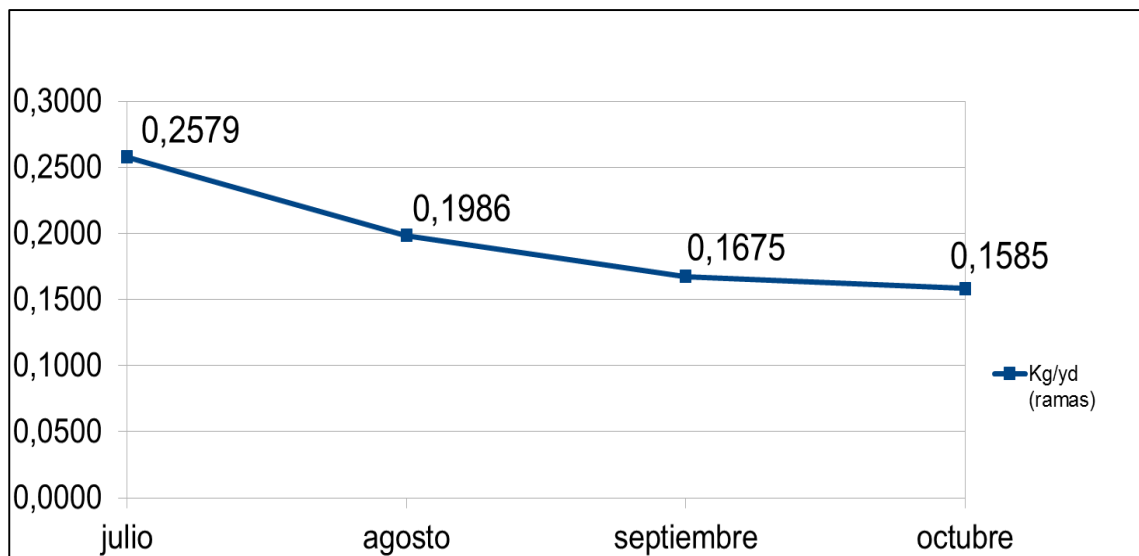
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXX. **Indicador 2**

| Mes        | Kg      |         | Indicador        | Producción                 |                 |
|------------|---------|---------|------------------|----------------------------|-----------------|
|            | Carbón  | Totales | Kg/yd<br>(ramas) | (yd)<br>Producción<br>Neta | (yd) en<br>Rama |
| Julio      | 140 720 | 140 720 | 0,2579           | 353 002                    | 545 625         |
| Agosto     | 100 020 | 100 020 | 0,1986           | 342 573                    | 503 691         |
| Septiembre | 118 740 | 118 740 | 0,1675           | 411 387                    | 708 915         |
| Octubre    | 99 905  | 99 905  | 0,1585           | 346 120                    | 630 387         |

Fuente: Textisur.

Figura 109. **Indicador 2**



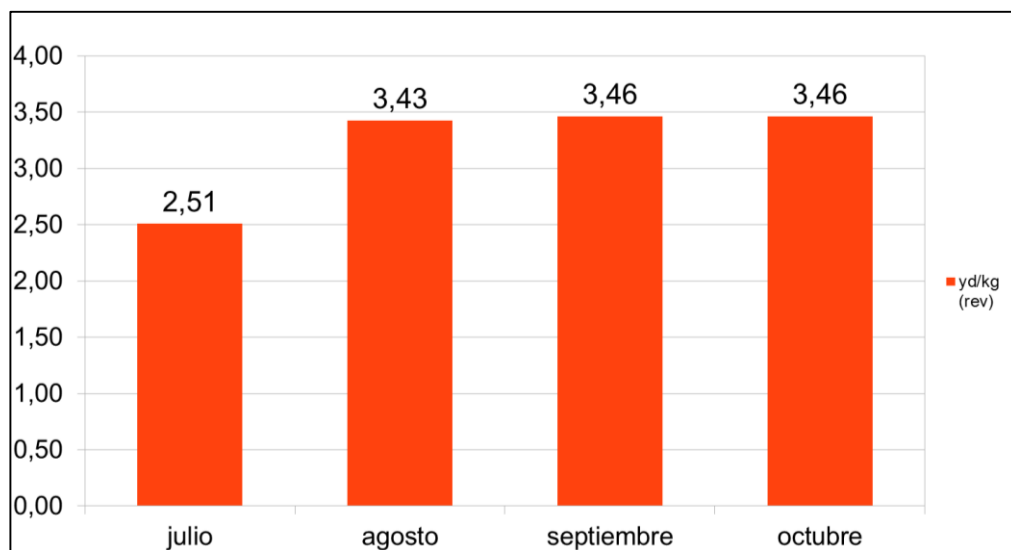
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXI. **Indicador 3**

| Mes        | Kg      |         | Indicador   | Producción           |              |
|------------|---------|---------|-------------|----------------------|--------------|
|            | Carbón  | Totales | yd/kg (rev) | (yd) Producción neta | (yd) en rama |
| Julio      | 140 720 | 140 720 | 2,51        | 353 002              | 545 625      |
| Agosto     | 100 020 | 100 020 | 3,43        | 342 573              | 503 691      |
| Septiembre | 118 740 | 118 740 | 3,46        | 411 387              | 708 915      |
| Octubre    | 99 905  | 99 905  | 3,46        | 346 120              | 630 387      |

Fuente: Textisur.

Figura 110. **Indicador 3**



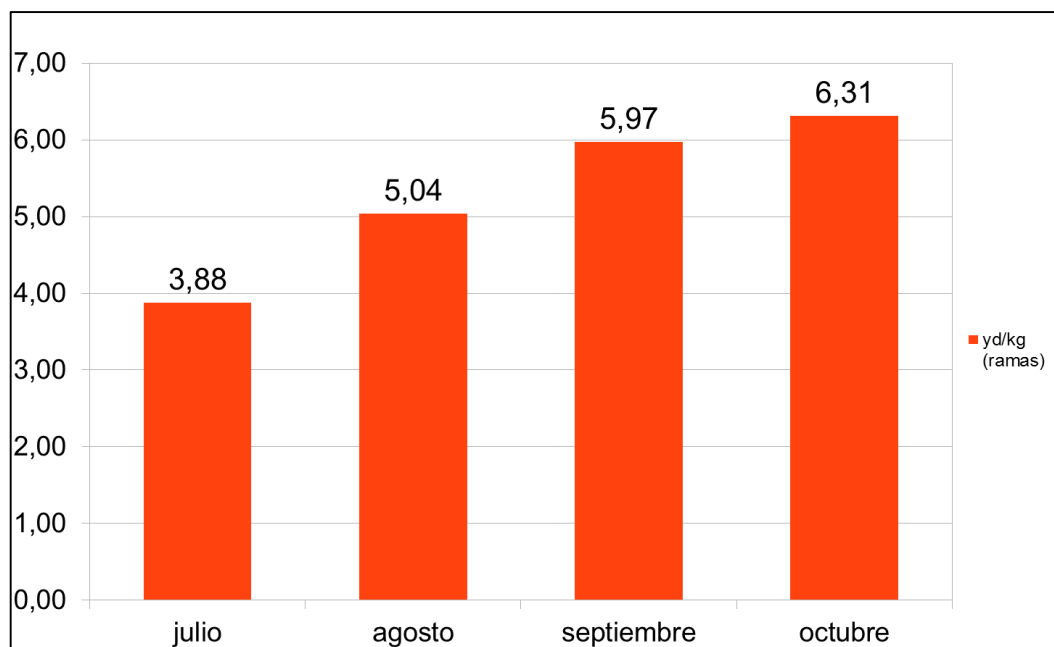
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXII. **Indicador 4**

| Mes        | Kg      |         | Indicador        | Producción                 |                 |
|------------|---------|---------|------------------|----------------------------|-----------------|
|            | Carbón  | Totales | yd/kg<br>(ramas) | (yd)<br>Producción<br>neta | (yd) en<br>rama |
| Julio      | 140 720 | 140 720 | 3,88             | 353 002                    | 545 625         |
| Agosto     | 100 020 | 100 020 | 5,04             | 342 573                    | 503 691         |
| Septiembre | 118 740 | 118 740 | 5,97             | 411 387                    | 708 915         |
| Octubre    | 99 905  | 99 905  | 6,31             | 346 120                    | 630 387         |

Fuente: Textisur.

Figura 111. **Indicador 4**



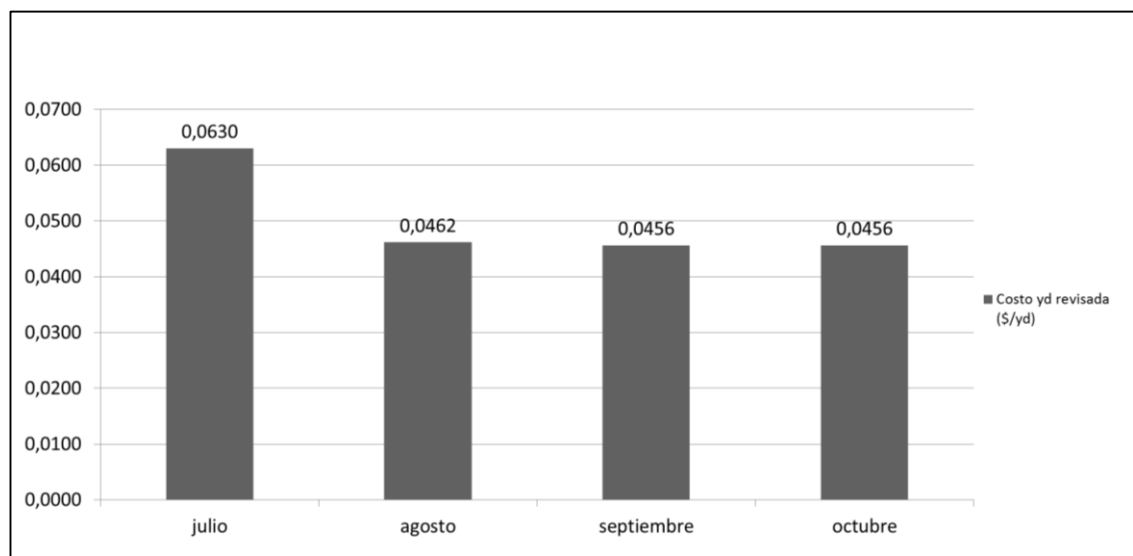
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXIII. **Indicador 5**

| Mes        | Producto     |              | Costo yd revisada (\$/yd) | Costo (\$) de 1000 yd revisadas |
|------------|--------------|--------------|---------------------------|---------------------------------|
|            | Carbón       | Totales      |                           |                                 |
| Julio      | \$ 22 247,83 | \$ 22 247,83 | 0,0630                    | 63,02                           |
| Agosto     | \$ 15 813,16 | \$ 15 813,16 | 0,0462                    | 46,16                           |
| Septiembre | \$ 18 772,79 | \$ 18 772,79 | 0,0456                    | 45,63                           |
| Octubre    | \$ 15 794,98 | \$ 15 794,98 | 0,0456                    | 45,63                           |

Fuente: Textisur.

Figura 112. **Indicador 5**



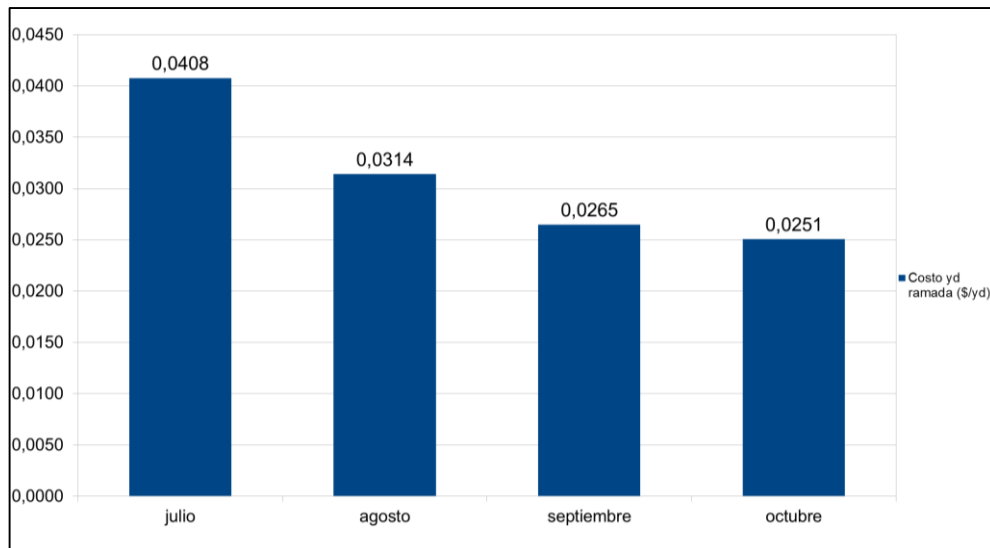
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXIV. **Indicador 6**

| Mes        | Producto     |              | Costo yd ramada (\$/yd) | Costo (\$) de 1000 yd ramada |
|------------|--------------|--------------|-------------------------|------------------------------|
|            | Carbón       | Totales      |                         |                              |
| Julio      | \$ 22 247,83 | \$ 22 247,83 | 0,0408                  | 40,77                        |
| Agosto     | \$ 15 813,16 | \$ 15 813,16 | 0,0314                  | 31,39                        |
| Septiembre | \$ 18 772,79 | \$ 18 772,79 | 0,0265                  | 26,48                        |
| Octubre    | \$ 15 794,98 | \$ 15 794,98 | 0,0251                  | 25,06                        |

Fuente: Textisur.

Figura 113. **Indicador 6**



Fuente: elaboración propia.

Es de mucha importancia que se mida la relación de consumo de combustible y las yardas de producción, así como los costos asociados a la producción para generar un mapa de donde se encuentra la empresa y a donde desea ir. Estos indicadores sirven también para crear políticas para el mejoramiento y optimización de los procesos y métodos.

Adicionalmente, se presentan ciertos indicadores de condiciones de operación de la caldera que brindan importante información de los rangos en que la caldera debe operar normalmente.

Los indicadores presentados son el de presión del vapor, temperatura de los gases y temperatura del fluido o aceite térmico tanto a la entrada como a la salida. En el anexo 7 se presenta la serie de valores de donde se generan los indicadores.

En la tabla LXXXV se muestran los valores promedios para las distintas condiciones de operación de la caldera de carbón.

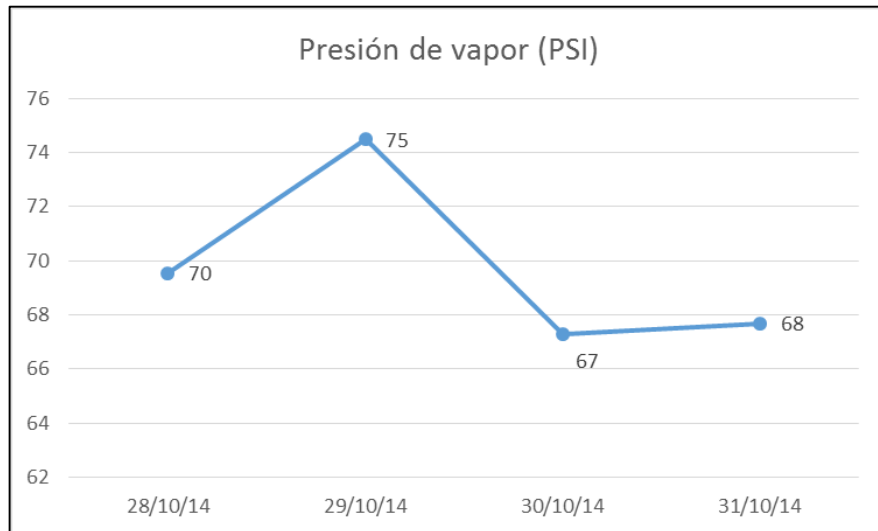
**Tabla LXXXV. Condiciones de operación**

| <b>Promedio por turno</b>          |                 |                 |                 |                 |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Fecha</b>                       | <b>28/10/14</b> | <b>29/10/14</b> | <b>30/10/14</b> | <b>31/10/14</b> |
| Presión de vapor promedio (psi)    | 70              | 75              | 67              | 68              |
| Temperatura de gases (°C)          | 168             | 177             | 175             | 175             |
| Temperatura de retorno aceite (°C) | 222             | 238             | 229             | 236             |
| Temperatura de salida aceite (°C)  | 233             | 250             | 243             | 247             |

Fuente: elaboración propia.

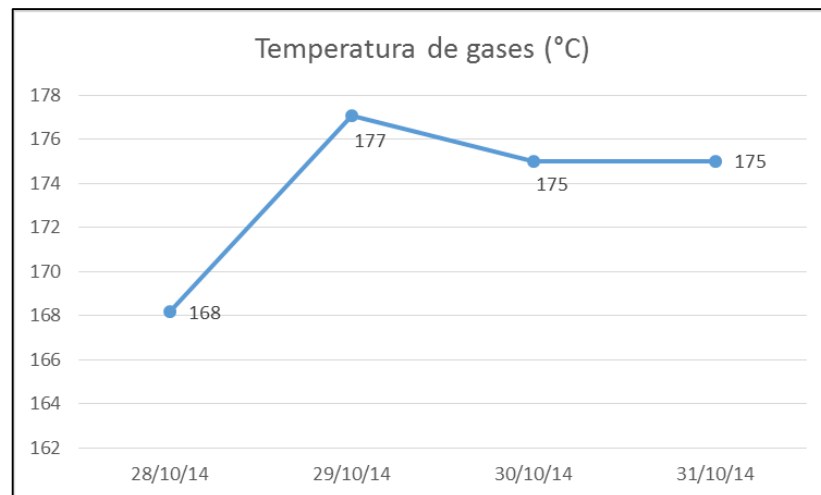


**Figura 114. Indicador 7**



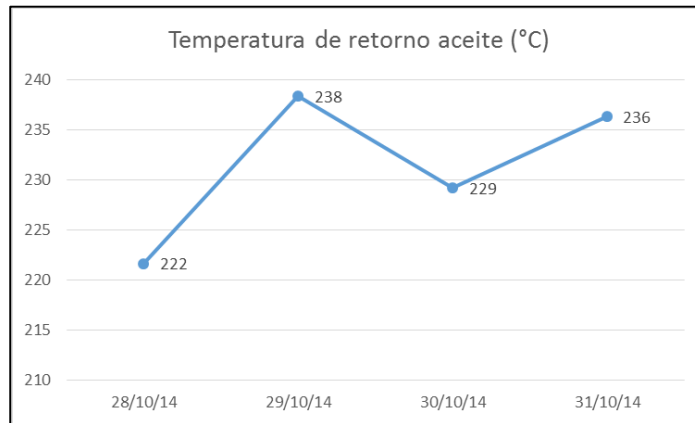
Fuente: elaboración propia.

**Figura 115. Indicador 8**



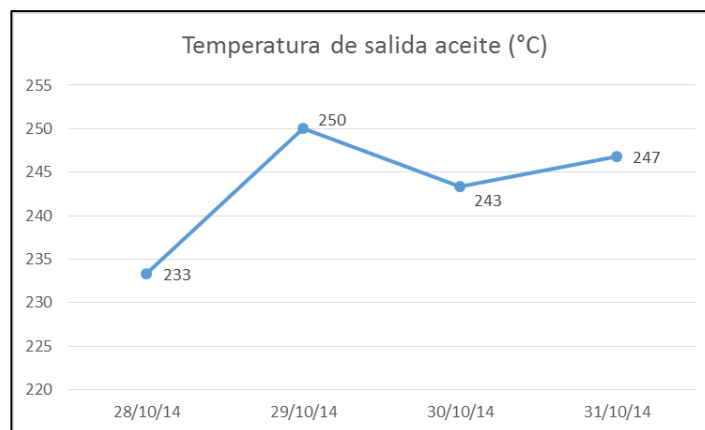
Fuente: elaboración propia.

**Figura 116. Indicador 9**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 117. Indicador 10**



Fuente: elaboración propia.

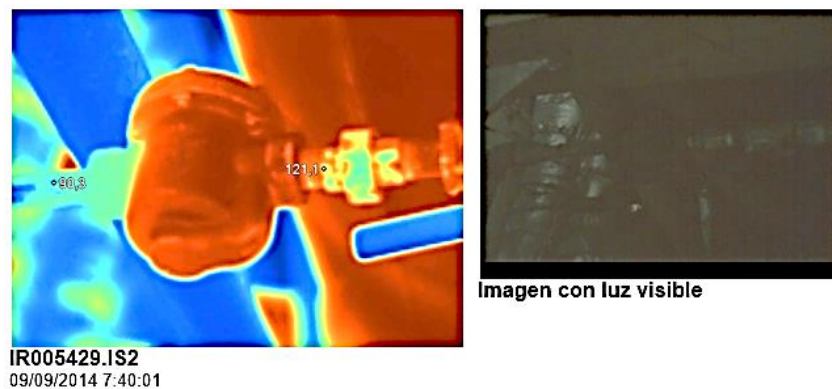
## 5.5. Termografía

La termografía es una técnica que permite calcular la temperatura de los objetos a distancia, con mucha exactitud y sin que exista un contacto directo con la superficie del objeto. En el mantenimiento predictivo tiene una amplia gama de aplicaciones, entre las que se destaca el estudio de trampas de vapor y la operación de motores.

En este apartado se estudiarán algunos elementos de la caldera que requieren seguimiento para monitorear su operación y detectar alguna anomalía para repararla antes que empeore y los costos de mantenimiento se eleven.

Se estudiará la trampa de vapor, la operación de los motores más críticos y la superficie del horno para detectar alguna desviación en su funcionamiento. Para esto se utiliza una cámara termográfica.

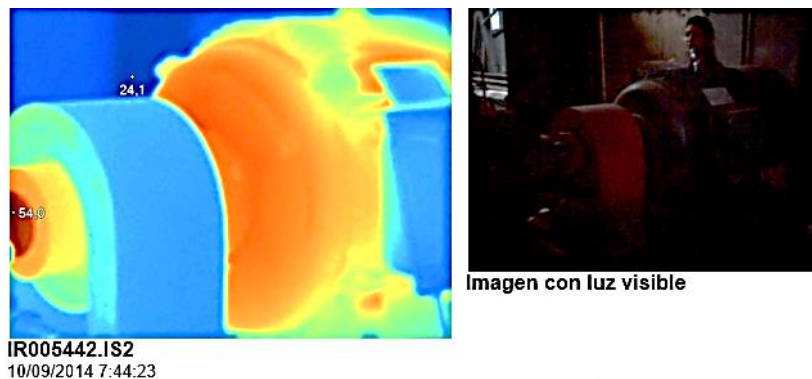
Figura 118. Termografía a la trampa de vapor



Fuente: Textisur, SmartView 2.1.

En la figura se analiza la trampa de vapor que posee la red, es de tipo balde invertido y su función es liberar el condensado de la tubería dejando solo vapor. Se observa que la temperatura en la entrada es mucho mayor que la temperatura de la salida, lo cual indica que el elemento está haciendo su trabajo. La temperatura del vapor es la más elevada 121,1 °C. El condensado se descarga a 90,3 °C.

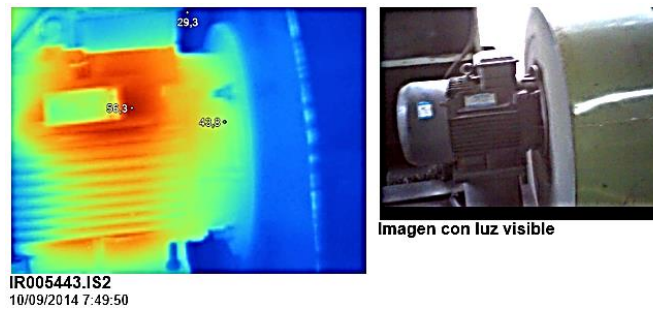
Figura 119. **Termografía al motor de turbina**



Fuente: Textisur, SmartView 2.1.

Las temperaturas de este motor no son demasiado elevadas, por lo que se concluye que los rodamientos están en buenas condiciones y que no presenta vibraciones ni sobrecargas.

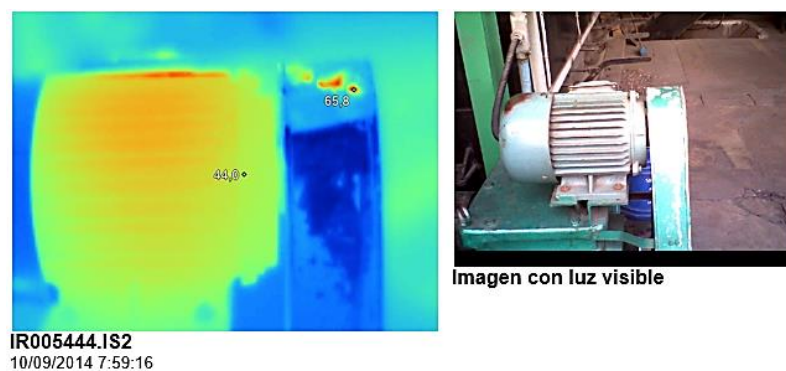
Figura 120. **Termografía a motor soplador *blower***



Fuente: Textisur, SmartView 2.1.

Este motor también tiene buenos signos de operación, la termografía muestra que no hay calentamiento excesivo. La temperatura en el lado de la carga es de 43,8, un valor en el rango de lo normal.

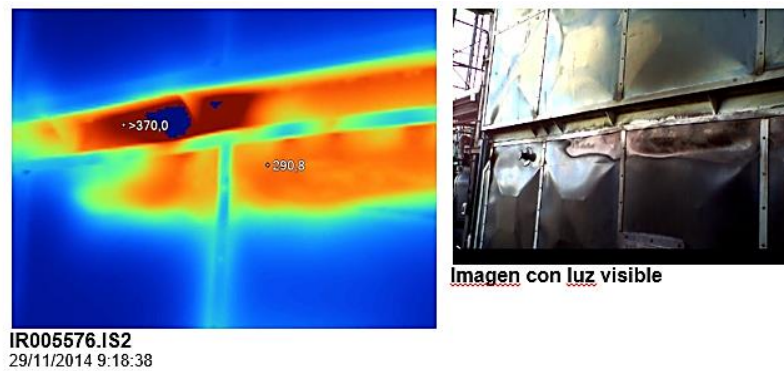
Figura 121. **Termografía al motor de banda transportadora**



Fuente: Textisur, SmartView 2.1.

Este motor no trabaja a elevadas velocidades y por ende no se calienta demasiado. La temperatura en el lado de la carga es bastante normal, 44 °C.

Figura 122. **Termografía al horno de la caldera (antes)**



Fuente: Textisur, SmartView 2.1.

La figura 122 muestra la superficie del horno de la caldera, la termografía indica que en un punto de la misma la temperatura excede los 370 °C eso es una anomalía. Se revisó el interior del horno y se descubrió que parte del cemento refractario se había desprendido y el calor del horno se transmitía al ambiente generando caídas en el rendimiento del combustible.

Figura 123. **Termografía al horno de la caldera (después)**



Fuente: Textisur, SmartView 2.1.

Se aplicó cemento refractario al interior del horno y luego se hizo la termografía nuevamente. Las temperaturas en la superficie son bajas, lo cual indica que el cemento refractario cumple muy bien con su función.





## **6. MEDIO AMBIENTE**

### **6.1. Emisiones de partículas**

Las partículas se pueden definir como cualquier material que existe en estado sólido o líquido en la atmósfera o en una corriente de gas. Las emisiones son todos los fluidos gaseosos puros o con sustancias en suspensión que se emanan como residuos de alguna actividad humana, natural o industrial. Las emisiones atmosféricas es el esparcimiento de sustancias a la atmósfera.

La caldera de carbón-biomasa, como todas las máquinas térmicas de combustión por combustible fósil, genera cierta cantidad de emisión al ambiente. Estas emisiones típicamente contienen dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) además de la ceniza y el hollín que son elementos contaminantes. Por otro lado, y en mayor concentración, se genera dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) el principal gas causante del efecto invernadero.

En toda industria es de mucha importancia que sus procesos no contribuyan al detrimento del medio ambiente, porque severas sanciones pueden ser impuestas si se detecta desviaciones a las normas de impacto ambiental, pH alto en aguas residuales de procesos, elevada cantidad de partes por millón en gases contaminantes, son dos posibles problemas con las autoridades del medio ambiente.

La caldera de carbón-biomasa, en términos generales, es bastante amigable con el medio ambiente, a pesar de tener una manufactura

rudimentaria y artesanal, esto no la restringe de proteger al medio ambiente de emisiones graves. La razón es su sistema secuencial de retención de cenizas. Este sistema lo conforma el separador ciclónico de ceniza tipo cilíndrico y la piscina recolectora de ceniza fina.

## **6.2. Función del limpiador de humos o ceniza**

Se describe el funcionamiento del limpiador de humos o ceniza también llamado sistema secuencial de retención de cenizas.

### **6.2.1. Piscina recolectora de ceniza fina**

Es una estructura fabricada de *blocks* de 90 cm de altura por 180 cm de ancho por 350 cm de largo, su función es retener la ceniza y el hollín que viaja en los gases combustión. La piscina se llena totalmente de agua y es esta la que ayuda a mantener la ceniza en el fondo, evitando que sea enviada al ambiente. Al pasar unos días, la piscina se llena de ceniza y hollín, las cuales se extraen y se depositan en una zona de relleno.

Figura 124. **Pileta de retención de ceniza**



Fuente: Textisur.

En el apéndice 1 se muestra el sentido de flujo de los gases de combustión iniciando en intercambiador, pasando por el generador de vapor, la ceniza se queda en la pileta recolectora y luego el remanente de los gases y la ceniza más fina son enviados al ambiente por la turbina y chimenea de tiro forzado.

### **6.2.2. Sistema de llenado**

La pileta o piscina de retención de ceniza es llenada continuamente para que la temperatura del líquido no aumente demasiado. El sistema de llenado consta de un flote que cierra la llave de paso del agua y cuando el nivel ha llegado al máximo una tubería de rebalse evita que exista pérdida de agua por derramamiento. La presión de las bombas de agua hace que el caudal sea constante.

### **6.2.3. Separador ciclónico de ceniza**

Por último, el separador ciclónico de ceniza es un elemento sólido fabricado de concreto y recubierto fibra de vidrio de alta densidad que posee una cortina metálica en su interior, la cual detiene el recorrido de la ceniza que va en los gases de combustión, separándolos y haciendo se precipite al agua y se quede en la piscina de retención. Está sobrepuesto en dos bases con un espacio para que la ceniza se acomode a lo largo y ancho de la pileta.

A continuación se muestra una imagen del cilindro separador de ceniza en posición operativa y una vista de su interior.

Figura 125. **Separador ciclónico cilíndrico**



Fuente: Textisur.

Figura 126. **Interior del separador ciclónico de ceniza**



Fuente: Textisur.

## CONCLUSIONES

1. El proceso necesario para la fabricación de la tela, el proceso textil, está lleno de etapas y procedimientos bastante grandes y complejos. En el caso de la tela fabricada de algodón, el proceso inicia en la hilandería donde se producen los conos, para ello se tienen las etapas de apertura, cardado, manuales, continuas de hilar y coneras. El siguiente proceso es el urdido, aquí los conos son dispuestos de tal forma que generan carretes grandes. Estos carretes pasan por el engomado que les brinda resistencia a la tensión necesaria en el siguiente proceso, tejeduría. En tejeduría el conjunto de urdido y la trama van haciendo el tejido (tela). La tela luego puede teñirse en frío o en caliente para por último pasar al proceso de acabado donde se seca y se le da el tacto deseado.
2. Se pudo determinar que utilizar la caldera de bunker para generar temperatura se ha convertido en un fuerte rubro de costos para la empresa debido al aumento constante del costo del combustible. Este costo de operación va muy ligado al costo de producción, por lo tanto se reduce la utilidad marginal en los productos, afectando fuertemente la economía de la fábrica.
3. Montar una máquina requiere varias etapas que deben ser llevadas a cabo por personas capacitadas y con experiencia, ya que un pequeño error en el montaje puede repercutir grandemente al momento de poner en marcha la máquina. En el proceso de montaje de la caldera de carbón biomasa, se trabajaron tres grandes etapas: el montaje y ubicación de las partes, el montaje de tubería y la acometida eléctrica.

4. La evaluación de proyectos permitió conocer con mayor precisión el grado de beneficio alcanzado. Con la TIR del proyecto de 12,6 %, se estima que el proyecto generará beneficios bastante positivos. También se realizó el análisis del tiempo de recuperación de la inversión y el mismo es de menos de un año. Con esta información, más la información de la tasa de beneficio y el VAN, se puede afirmar que el proyecto, por donde se vea, es muy rentable.
5. Las pautas de mantenimiento desarrolladas garantizan que la caldera trabaje adecuadamente, aumentando la vida útil de todos los sistemas y elementos de la máquina.
6. En la etapa de operación y periodo de adaptación se estuvo tratando de encontrar aquel o aquellos combustibles más eficientes para acompañar al carbón en la combustión. Se probó con varios, entre ellos raquis de palma africana, madera peletizada y cáscara de macadamia, sin embargo, se constató que los primeros dos son higroscópicos y a precios elevados por tanto poco eficientes, el tercero es bastante bueno pero la reserva del material es muy limitada en el país. Por lo tanto, se concluyó que lo mejor es consumir solamente carbón.
7. Se encontraron varios cursos de acción que pueden ser seguidos como guía para darle al proyecto mejoras constantes. Se puede crecer bastante al aplicar herramientas como indicadores de rendimiento de combustible y el establecimiento de estándares a las tareas operativas.
8. La caldera de carbón-biomasa requiere de mucha participación del personal de operación ya que la mayoría de los elementos necesarios para poner en marcha la máquina son manuales. Por ende, la realización

del procedimiento de operación paro-arranque con tiempos normalizados contribuye a que el personal siga lineamientos específicos que disminuyen la probabilidad de errores y mejora el método general de operación.

9. Los diagramas que se diseñaron de la caldera carbón-biomasa brindan una vista muy clara de la forma en que opera la máquina y sirven de referencia para futuras modificaciones o dudas en cuanto a la tubería térmica y de vapor y agua.





## RECOMENDACIONES

1. Seguir las pautas de mantenimiento establecidos en el manual del fabricante para que el equipo tenga una larga vida útil. Empezando por la lubricación y engrase de elementos mecánicos, como cajas reductoras, cadenas y rodamientos, sin olvidar las labores generales de limpieza. Es también de vital importancia que cada una de las labores de mantenimiento sean llevadas a cabo por personas calificadas, con experiencia y conocimiento técnico-práctico.
2. Se deben mantener un control muy estricto en cuanto al costo de operación que genera la caldera de carbón-biomasa. Este costo debe incluir el costo del combustible, el costo de mano de obra y el costo de energía eléctrica. Este dato permitirá a la Gerencia evaluar constantemente el comportamiento en el tiempo del proyecto.
3. El capítulo tres de esta investigación debe servir de referencia para el Departamento de Mantenimiento al momento de necesitar cualquier dato técnico acerca de la caldera de carbón-biomasa, importante información de índole técnica para electricistas y mecánicos está implícita en dicho capítulo. También crear un manual específico con los diagramas de la caldera diseñados en este trabajo, para que, de forma práctica, los técnicos accedan a los mismos, este manual puede almacenarse en el armario eléctrico.
4. Es posible crear indicadores que midan la eficiencia del consumo de combustible en la caldera, relacionando el consumo en peso del material

con las yardas producidas y las yardas revisadas. La continuidad de este indicador permitirá obtener datos históricos que servirán de fuente de consulta para la futura toma de decisiones.

5. Que no se utilicen los siguientes materiales: madera peletizada con alto grado de humedad, raquis de palma africana y cáscara de semilla de marañón. El material más recomendable para consumir en caldera es el carbón mineral.
6. Para que el personal que vaya a desempeñarse como operador de caldera de carbón-biomasa se desarrolle en un ambiente idóneo desde el primer día, se debe hacer una inducción de conocimiento del equipo que debe operar y se le ha de presentar los procedimientos de arranque y paro que ha de seguir para trabajar correctamente la máquina. El proceso de capacitación también debe incluir las labores de mantenimiento que ha de ejecutar.
7. Se sugiere realizar termografía a todos los elementos importantes de la caldera al menos una vez por mes. Estos elementos deben ser los motores trifásicos, la trampa de vapor y la superficie externa de la caldera. En los motores trifásicos debe controlarse la temperatura, en la trampa de vapor, que la misma efectúe correctamente el drenado del condensado y en el exterior de la máquina, que la temperatura superficial no se incremente.

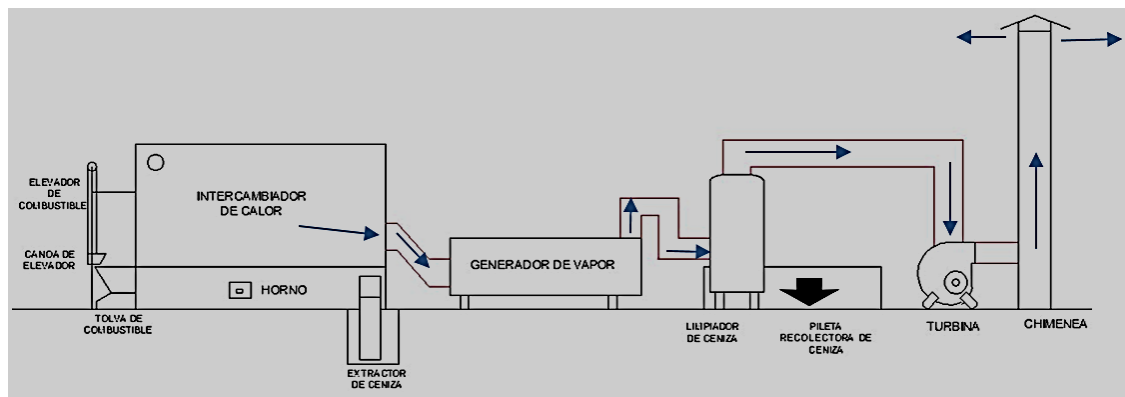
## BIBLIOGRAFÍA

1.     ÁLVAREZ PULIDO, Manuel. *Convertidores de frecuencia, controladores de motores y SSR*. España: MARCOMBO, 2000. 160 p.
2.     ARROYO, Víctor. *Monitoreo de emisiones de chimeneas en calderas*. Perú: CINYDE S.A.C., 2003. 36 p.
3.     CREUS, Antonio. *Instrumentación industrial*. 8a ed. México: Alfaomega Grupo Editor, 2010. 792 p.
4.     De RUS MENDOZA, Ginés. *Análisis coste-beneficio. Evaluación económica de políticas y proyectos de inversión*. España: Ariel, 2008. 360 p.
5.     ERNITZ, Anatolio. *Manual de aislación térmica*. España: Librería y Editorial Alsina, 1955. 126 p.
6.     GARCIA LOZADA, Héctor Manuel. *Evaluación de riesgo por emisiones de partículas en fuentes estacionarias en combustión. Estudio de caso: Bogotá*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2006. 69 p.
7.     GAXIOLA, José María. *Curso de capacitación en soldadura*. 2a ed. México: Limusa, 2004. 181 p.

8. HILLER, Frederick; LIEBERMAN, Gerald. *Introducción a la investigación de operaciones*. 9a ed. México: McGraw Hill, 2010. 1010 p.
9. Indura. *Manual de sistemas y materiales de soldadura*. Chile: Indura, 2007. 172 p.
10. MOTT, Robert L. *Mecánica de fluidos*. 6a ed. México: Pearson Education, 2006. 644 p.
11. PASCUAL, Ramón; SUBIAS, Albert. *Planificación y rentabilidad de proyectos industriales*. España: MARCOMBO, 1988. 155 p.
12. SULLIVAN, William; et al. *Ingeniería económica de DeGarmo*. 12a ed. México: Pearson Educación, 2004. 736 p.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Sentido de flujo gases de combustión



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

### Apéndice 2. Tasa de consumo de combustible I

|            |                    | ESCENARIOS DE TRABAJO COMÚN |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |
|------------|--------------------|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|----|----|----|
| MÁQUINA    | RAMA 1             | X                           | X  | X  | X  | ✓  | X  | X  | X  | X  | X  | X | X | ✓  | X  | X  | X  |
|            | RAMA 2             | ✓                           | ✓  | ✓  | ✓  | ✓  | ✓  | X  | ✓  | X  | X  | X | X | X  | X  | X  | X  |
|            | RAMA 3             | X                           | ✓  | ✓  | ✓  | X  | X  | ✓  | X  | ✓  | X  | X | X | X  | X  | X  | X  |
|            | TUMBLER            | X                           | X  | ✓  | ✓  | X  | X  | X  | ✓  | X  | ✓  | X | X | X  | X  | X  | X  |
|            | RAMA FAMATEX       | X                           | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X | X | X  | ✓  | X  | X  |
|            | ESTAMPADORA ZIMMER | X                           | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | ✓ | X | X  | X  | ✓  | X  |
|            | ESTAMPADORA BUSER  | X                           | X  | X  | ✓  | X  | ✓  | ✓  | X  | X  | X  | X | ✓ | X  | ✓  | ✓  | ✓  |
|            | Carretas/Hora      |                             |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |
| UTILIZANDO | Sólo carbón        | Carbón                      | 3  | 6  | 7  | 8  | 5  | 4  | 4  | 4  | 3  | 1 | 1 | 1  | 2  | 3  | 2  |
|            | Sólo madera        | Madera                      | 22 | 44 | 50 | 58 | 36 | 31 | 31 | 28 | 22 | 6 | 8 | 14 | 22 | 22 | 17 |
|            | Mezcla             | Carbón                      | 2  | 4  | 5  | 5  | 3  | 3  | 3  | 3  | 2  | 1 | 1 | 1  | 1  | 2  | 2  |
|            | Carbón-madera      | Madera                      | 8  | 16 | 18 | 21 | 13 | 11 | 11 | 10 | 8  | 2 | 3 | 3  | 5  | 8  | 6  |

Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. Tasa de consumo de combustible II

|         |                    | ESCENARIOS DE TRABAJO POCO COMÚN |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---------|--------------------|----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MÁQUINA | RAMA 1             | ✓                                | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | X | X | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|         | RAMA 2             | ✓                                | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | X | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|         | RAMA 3             | ✓                                | ✓ | ✓ | ✓ | X | X | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|         | TUMBLER            | X                                | X | ✓ | ✓ | ✓ | X | X | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|         | RAMA FAMATEX       | X                                | X | X | X | X | ✓ | X | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
|         | ESTAMPADORA ZIMMER | X                                | X | X | X | ✓ | X | ✓ | X | ✓ | X | ✓ | ✓ |
|         | ESTAMPADORA BUSER  | X                                | ✓ | X | ✓ | X | X | X | X | X | ✓ | ✓ | ✓ |

|            |               | Carretas/Hora |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------|---------------|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| UTILIZANDO | Sólo carbón   | Carbón        | 8  | 10 | 10 | 10 | 7  | 2  | 8  | 11 | 12 | 12 | 14 |
|            |               |               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|            | Sólo madera   | Madera        | 58 | 67 | 64 | 72 | 50 | 14 | 53 | 78 | 86 | 86 | 94 |
|            |               |               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|            | Mezcla        | Carbón        | 5  | 6  | 6  | 7  | 5  | 1  | 5  | 7  | 8  | 8  | 9  |
|            | Carbón-madera | Madera        | 21 | 24 | 23 | 27 | 18 | 5  | 19 | 29 | 32 | 32 | 35 |

Fuente: elaboración propia.

## ANEXOS

### Anexo 1. Promedio de precios de hidrocarburos, octubre 2014

| FECHA     | PRECIOS PROMEDIO A CONSUMIDOR FINAL CIUDAD CAPITAL |         |        |        |                     |         |
|-----------|----------------------------------------------------|---------|--------|--------|---------------------|---------|
|           | Superior                                           | Regular | Diesel | Bunker | Glp Cilindro 25Lbs. |         |
|           | Q/GALON                                            |         |        |        | Q/Cilindro          | Q/Libra |
| 01-oct-14 | 32.31                                              | 30.77   | 28.01  | 21.25  | 140.00              | 5.60    |
| 02-oct-14 | 32.31                                              | 30.77   | 28.01  | 21.25  | 140.00              | 5.60    |
| 03-oct-14 | 32.31                                              | 30.77   | 28.01  | 21.25  | 140.00              | 5.60    |
| 06-oct-14 | 32.05                                              | 30.55   | 27.83  | 21.13  | 140.00              | 5.60    |
| 07-oct-14 | 32.05                                              | 30.55   | 27.83  | 21.13  | 140.00              | 5.60    |
| 08-oct-14 | 32.05                                              | 30.55   | 27.83  | 21.13  | 140.00              | 5.60    |
| 09-oct-14 | 32.05                                              | 30.55   | 27.83  | 21.13  | 140.00              | 5.60    |
| 10-oct-14 | 32.05                                              | 30.55   | 27.83  | 21.13  | 140.00              | 5.60    |
| 13-oct-14 | 31.05                                              | 29.57   | 27.37  | 21.06  | 140.00              | 5.60    |
| 14-oct-14 | 31.05                                              | 29.57   | 27.37  | 21.06  | 140.00              | 5.60    |
| 15-oct-14 | 31.05                                              | 29.57   | 27.37  | 21.06  | 140.00              | 5.60    |
| 16-oct-14 | 31.05                                              | 29.57   | 27.37  | 21.06  | 140.00              | 5.60    |
| 17-oct-14 | 31.05                                              | 29.57   | 27.37  | 21.06  | 140.00              | 5.60    |
| 20-oct-14 | 29.76                                              | 28.24   | 26.31  | 20.81  | 140.00              | 5.60    |
| 21-oct-14 | 29.76                                              | 28.24   | 26.31  | 20.81  | 140.00              | 5.60    |
| 22-oct-14 | 29.76                                              | 28.24   | 26.31  | 20.81  | 140.00              | 5.60    |
| 23-oct-14 | 29.76                                              | 28.24   | 26.31  | 20.81  | 140.00              | 5.60    |
| 24-oct-14 | 29.76                                              | 28.24   | 26.31  | 20.81  | 140.00              | 5.60    |
| 27-oct-14 | 29.09                                              | 27.57   | 25.88  | 20.28  | 140.00              | 5.60    |
| 28-oct-14 | 29.09                                              | 27.57   | 25.88  | 20.28  | 140.00              | 5.60    |
| 29-oct-14 | 29.09                                              | 27.57   | 25.88  | 20.28  | 140.00              | 5.60    |
| 30-oct-14 | 29.09                                              | 27.57   | 25.88  | 20.28  | 140.00              | 5.60    |
| 31-oct-14 | 29.09                                              | 27.57   | 25.88  | 20.28  | 140.00              | 5.60    |
| 03-nov-14 | 28.55                                              | 27.06   | 25.37  | 19.93  | 140.00              | 5.60    |
| 04-nov-14 | 28.55                                              | 27.06   | 25.37  | 19.93  | 140.00              | 5.60    |

Fuente: Ministerio de Energía y Minas de Guatemala.

**Anexo 2. Consumo de bunker, abril 2013**

| <b>Día</b>                     | <b>Consumo (gal)</b> | <b>Costo</b>       |
|--------------------------------|----------------------|--------------------|
| 01/04/2013                     | 214                  | Q4 708,00          |
| 02/04/2013                     | 1 361                | Q29 942,00         |
| 03/04/2013                     | 1 231                | Q27 082,00         |
| 04/04/2013                     | 1 345                | Q29 590,00         |
| 05/04/2013                     | 1 319                | Q29 018,00         |
| 06/04/2013                     | 645                  | Q14 190,00         |
| 07/04/2013                     | 0                    | Q0,00              |
| 08/04/2013                     | 953                  | Q20 996,00         |
| 09/04/2013                     | 1 077                | Q23 694,00         |
| 10/04/2013                     | 1 098                | Q24 156,00         |
| 11/04/2013                     | 1 104                | Q24 288,00         |
| 12/04/2013                     | 1 084                | Q23 848,00         |
| 13/04/2013                     | 374                  | Q8 228,00          |
| 14/04/2013                     | 0                    | Q0,00              |
| 15/04/2013                     | 896                  | Q19 712,00         |
| 16/04/2013                     | 1 367                | Q30 074,00         |
| 17/04/2013                     | 1 099                | Q24 178,00         |
| 18/04/2013                     | 1 316                | Q28 952,00         |
| 19/04/2013                     | 1 132                | Q24 904,00         |
| 20/04/2013                     | 0                    | Q0,00              |
| 21/04/2013                     | 0                    | Q0,00              |
| 22/04/2013                     | 0                    | Q0,00              |
| 23/04/2013                     | 767                  | Q16 874,00         |
| 24/04/2013                     | 1 119                | Q24 618,00         |
| 25/04/2013                     | 1 233                | Q27 126,00         |
| 26/04/2013                     | 1 382                | Q30 404,00         |
| 27/04/2013                     | 1 157                | Q25 454,00         |
| 28/04/2013                     | 243                  | Q5 346,00          |
| 29/04/2013                     | 132                  | Q2 904,00          |
| 30/04/2013                     | 1 307                | Q28 754,00         |
| <b>Costo total Combustible</b> |                      | <b>Q549 010,00</b> |

Fuente: Departamento de Mantenimiento, Textisur.



Anexo 3. Foto de orden de compra de caldera

**TEXTILES DEL SUR INTERNACIONAL, S. A.**  
KM 18.5 CARRETERA AL MAYAN GOLF

**R-COM-02 - ORDEN DE COMPRA**  
**140C00001**

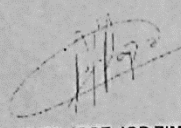
Pág. 1  
03/01/2014

|                                                                                                            |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |                  |          |           |  |       |       |          |                 |                    |               |          |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------|----------|-----------|--|-------|-------|----------|-----------------|--------------------|---------------|----------|------------|
| HEBEI GOLD BANGZI BOILERS CO., LTD.<br>NO. 66 SHIQING ROAD SHIJIAZHUANG,<br>HEBEI, CHINA<br>HEBEI<br>CHINA |                 | <table border="1"> <tr> <td>CODIGO PROVEEDOR</td> <td>CONTACTO</td> </tr> <tr> <td>CN-HEGOBA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>BUYER</td> <td>TERMS</td> </tr> <tr> <td>ATAMAYAC</td> <td>PAGO ANTICIPADO</td> </tr> <tr> <td>METODO DE EMBARQUE</td> <td>DATE REQUIRED</td> </tr> <tr> <td>MARITIMO</td> <td>03/01/2014</td> </tr> </table> |  | CODIGO PROVEEDOR | CONTACTO | CN-HEGOBA |  | BUYER | TERMS | ATAMAYAC | PAGO ANTICIPADO | METODO DE EMBARQUE | DATE REQUIRED | MARITIMO | 03/01/2014 |
| CODIGO PROVEEDOR                                                                                           | CONTACTO        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |                  |          |           |  |       |       |          |                 |                    |               |          |            |
| CN-HEGOBA                                                                                                  |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |                  |          |           |  |       |       |          |                 |                    |               |          |            |
| BUYER                                                                                                      | TERMS           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |                  |          |           |  |       |       |          |                 |                    |               |          |            |
| ATAMAYAC                                                                                                   | PAGO ANTICIPADO |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |                  |          |           |  |       |       |          |                 |                    |               |          |            |
| METODO DE EMBARQUE                                                                                         | DATE REQUIRED   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |                  |          |           |  |       |       |          |                 |                    |               |          |            |
| MARITIMO                                                                                                   | 03/01/2014      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |                  |          |           |  |       |       |          |                 |                    |               |          |            |

| CANT. | CÓDIGO        | DESCRIPTION                                 | PRECIO U.    | % DESC. | TOTAL      |
|-------|---------------|---------------------------------------------|--------------|---------|------------|
| 1.00  | MQ-CALDERA-01 | (UN) CALDERA DE VAPOR YLW-4700 HEBEI C/PART | 140,938.4000 | 0.00    | 140,938.40 |

SUB TOTAL: \$140,938.40  
FLETE: \$0.00  
TOTAL: \$140,938.40

FACTURA # BZ20130722D1 Y FACTURA # BZ20130722D2  
SOLICITADO POR DON PEPE  
02 CONTENEDORES, 01 LOWBOY Y 01 PLATAFORMA

  
ING. JUAN JOSE JOP ZIMERI  
RESPONSABLE

Fuente: Textisur.

#### Anexo 4. Relación de consumo combustible y producción

|                                                       |              |                 |                                |                                                                                     |
|-------------------------------------------------------|--------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Textiles del Sur Internacional S.A.                   |              |                 |                                |  |
| Departamento de Mantenimiento                         |              |                 |                                |                                                                                     |
| Relación Consumo Combustibles vs Produccion           |              |                 |                                |                                                                                     |
| Caldera de Carbón-Biomasa                             |              |                 |                                |                                                                                     |
|                                                       |              |                 |                                |                                                                                     |
| Fecha                                                 | Carbón       |                 |                                |                                                                                     |
|                                                       | Consumo (kg) | Producción (yd) | Relación consumo vs producción |                                                                                     |
| 01/07/14                                              | 0            | 6,290           | 0.00                           |                                                                                     |
| 02/07/14                                              | 6480         | 2,557           | 2.53                           |                                                                                     |
| 03/07/14                                              | 5400         | 1,300           | 4.15                           |                                                                                     |
| 04/07/14                                              | 6540         | 8,379           | 0.78                           |                                                                                     |
| 05/07/14                                              | 1380         | 19,187          | 0.07                           |                                                                                     |
| 06/07/14                                              | 0            | 0               | #DIV/0!                        |                                                                                     |
| 07/07/14                                              | 0            | 5,336           | 0.00                           |                                                                                     |
| 08/07/14                                              | 9960         | 10,209          | 0.98                           |                                                                                     |
| 09/07/14                                              | 8580         | 6,243           | 1.37                           |                                                                                     |
| 10/07/14                                              | 5820         | 31,018          | 0.19                           |                                                                                     |
| 11/07/14                                              | 7020         | 1,783           | 3.94                           |                                                                                     |
| 12/07/14                                              | 2880         | 5,419           | 0.53                           |                                                                                     |
| 13/07/14                                              | 1500         | 0               | #DIV/0!                        |                                                                                     |
| 14/07/14                                              | 3720         | 15,713          | 0.24                           |                                                                                     |
| 15/07/14                                              | 3540         | 13,154          | 0.27                           |                                                                                     |
| 16/07/14                                              | 6060         | 15,296          | 0.40                           |                                                                                     |
| 17/07/14                                              | 6720         | 7,237           | 0.93                           |                                                                                     |
| 18/07/14                                              | 3480         | 37,290          | 0.09                           |                                                                                     |
| 19/07/14                                              | 3360         | 21,827          | 0.15                           |                                                                                     |
| 20/07/14                                              | 0            | 0               | #DIV/0!                        |                                                                                     |
| 21/07/14                                              | 0            | 810             | 0.00                           |                                                                                     |
| 22/07/14                                              | 7200         | 20,945          | 0.34                           |                                                                                     |
| 23/07/14                                              | 7380         | 6,357           | 1.16                           |                                                                                     |
| 24/07/14                                              | 7260         | 13,628          | 0.53                           |                                                                                     |
| 25/07/14                                              | 7773         | 32,087          | 0.24                           |                                                                                     |
| 26/07/14                                              | 3887         | 16,917          | 0.23                           |                                                                                     |
| 27/07/14                                              | 0            | 0               | #DIV/0!                        |                                                                                     |
| 28/07/14                                              | 0            | 8,462           | 0.00                           |                                                                                     |
| 29/07/14                                              | 9660         | 10,794          | 0.89                           |                                                                                     |
| 30/07/14                                              | 9060         | 9,248           | 0.98                           |                                                                                     |
|                                                       | kg           | yd              |                                |                                                                                     |
| TOTAL                                                 | 134660       | 327485.87       |                                |                                                                                     |
|                                                       |              |                 |                                |                                                                                     |
| Promedio de kg. De carbón por yarda de tela producida |              | 0.41            | * Mes de julio 2014            |                                                                                     |

Fuente: Textisur.

## Anexo 5. Consumo estimado de combustible según carga

Textiles del Sur Internacional S.A.

PROYECTO: CALDERA ACEITE TERMICO

Consumo estimados combustible segun carga

|         | Carbon          | Cp            | Peso carretilla |
|---------|-----------------|---------------|-----------------|
| Equipo  | Carretilla/hora | 6,200 Kcal/kg | 60 Kg           |
| Famatex | 2.0             |               |                 |
| Rama 1  | 2.0             |               |                 |
| Rama 2  | 3.2             |               |                 |
| Rama 3  | 3.2             |               |                 |
| Zimmer  | 1.2             |               |                 |
| Buser   | 1.2             |               |                 |
| Tumbler | 0.8             |               |                 |

Consumo estimados combustible segun carga

|         | Madera          | Cp            | Peso carretilla |
|---------|-----------------|---------------|-----------------|
| Equipo  | Carretilla/hora | 1,800 Kcal/kg | 30 Kg           |
| Famatex | 13.89           |               |                 |
| Rama 1  | 13.89           |               |                 |
| Rama 2  | 22.22           |               |                 |
| Rama 3  | 22.22           |               |                 |
| Zimmer  | 8.33            |               |                 |
| Buser   | 8.33            |               |                 |
| Tumbler | 5.56            |               |                 |

Consumo estimado segun carga

Mezcla: Madera-Carbon

Relacion:

4: 1

|         | Madera          | Carbon          |
|---------|-----------------|-----------------|
| Equipo  | Carretilla/hora | Carretilla/hora |
| Famatex | 5.10            | 1.27            |
| Rama 1  | 5.10            | 1.27            |
| Rama 2  | 8.16            | 2.02            |
| Rama 3  | 8.16            | 2.02            |
| Zimmer  | 3.06            | 0.76            |
| Buser   | 3.06            | 0.76            |
| Tumbler | 2.04            | 0.51            |

DATA:

|                 |                  |              |
|-----------------|------------------|--------------|
| 4 Carretilla de | 1 Carretillas de |              |
| Madera          | Carbon           | Total Kcal   |
| 216,000 Kcal/kg | 372,000 Kcal/kg  | 588,000 Kcal |
| 37%             | 63%              | 100%         |

Fuente: Textisur.

## Anexo 6. Formato de control de condiciones de operación

| Mantenimiento                                   |                                 |                             |                     |                            |                          |                           |                                               |                                              |                            |                             |             |              |                        |            |  |  |
|-------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------|--------------|------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Caldera de Biomasa                              |                                 |                             |                     |                            |                          |                           |                                               |                                              |                            |                             |             |              |                        |            |                                                                                     |  |
| Formato de control de instrumentos y parametros |                                 |                             |                     |                            |                          |                           |                                               |                                              |                            |                             |             |              |                        |            | Fecha                                                                               |  |
| HORA                                            | PRESION ENTRADA DE ACEITE (Mpa) | PRESION SALIDA ACEITE (Mpa) | PRESION BOMBA (BAR) | PRESION SALIDA VAPOR (PSI) | TEMP. SALIDA ACEITE (-C) | TEMP. RETORNO ACEITE (-C) | Temp. gases entrada intercambiador calor (-F) | Temp. gases salida intercambiador calor (-C) | TEMP. RETORNO DISPLAY (-C) | TEMP. SALIDA - DISPLAY (-C) | VOLTAJE (V) | AMPERAJE (A) | MEDIDOR DE VACIO (Kpa) | HUMO SI/NO | MATERIAL                                                                            |  |
| 08:00                                           |                                 |                             |                     |                            |                          |                           |                                               |                                              |                            |                             |             |              |                        |            |                                                                                     |  |
| 10:00                                           |                                 |                             |                     |                            |                          |                           |                                               |                                              |                            |                             |             |              |                        |            |                                                                                     |  |
| 12:00                                           |                                 |                             |                     |                            |                          |                           |                                               |                                              |                            |                             |             |              |                        |            |                                                                                     |  |
| 14:00                                           |                                 |                             |                     |                            |                          |                           |                                               |                                              |                            |                             |             |              |                        |            |                                                                                     |  |
| 16:00                                           |                                 |                             |                     |                            |                          |                           |                                               |                                              |                            |                             |             |              |                        |            |                                                                                     |  |
| 18:00                                           |                                 |                             |                     |                            |                          |                           |                                               |                                              |                            |                             |             |              |                        |            |                                                                                     |  |
| 20:00                                           |                                 |                             |                     |                            |                          |                           |                                               |                                              |                            |                             |             |              |                        |            |                                                                                     |  |
| 22:00                                           |                                 |                             |                     |                            |                          |                           |                                               |                                              |                            |                             |             |              |                        |            |                                                                                     |  |
| 00:00                                           |                                 |                             |                     |                            |                          |                           |                                               |                                              |                            |                             |             |              |                        |            |                                                                                     |  |
| 02:00                                           |                                 |                             |                     |                            |                          |                           |                                               |                                              |                            |                             |             |              |                        |            |                                                                                     |  |
| 04:00                                           |                                 |                             |                     |                            |                          |                           |                                               |                                              |                            |                             |             |              |                        |            |                                                                                     |  |
| 06:00                                           |                                 |                             |                     |                            |                          |                           |                                               |                                              |                            |                             |             |              |                        |            |                                                                                     |  |

| OBSERVACIONES | OPERARIOS | HORARIO | FIRMA |
|---------------|-----------|---------|-------|
|               |           |         |       |
|               |           |         |       |
|               |           |         |       |
|               |           |         |       |

| MAQUINA            | HORA/TEMPERATURA |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                    | 07               | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 |
| RAMA 1             |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| RAMA 2             |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| RAMA 3             |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| TUMBLER            |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| RAMA FAMATEX       |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| ESTAMPADORA ZIMMER |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| ESTAMPADORA BUSER  |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

| MATERIAL | C      | M      | MC        | A       |
|----------|--------|--------|-----------|---------|
|          | CARBÓN | MADERA | MACADAMIA | ALGODÓN |

Fuente: Textisur.

Anexo 7. **Datos para indicadores de condiciones de operación**

| FECHA    | HORA  | PRESION<br>SALIDA<br>VAPOR (PSI) | TEMPERATURA DE<br>GASES (°C) | TEMPERATURA<br>ACEITE<br>RETORNO (°C) | TEMPERATURA<br>SALIDA (°C) |
|----------|-------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| 28/10/14 | 08:00 |                                  |                              |                                       |                            |
| 28/10/14 | 10:00 | 50                               | 160                          | 207                                   | 232                        |
| 28/10/14 | 12:00 | 75                               | 170                          | 241                                   | 248                        |
| 28/10/14 | 14:00 | 85                               | 175                          | 234                                   | 255                        |
| 28/10/14 | 16:00 | 80                               | 180                          | 230                                   | 248                        |
| 28/10/14 | 18:00 | 85                               | 180                          | 204                                   | 214                        |
| 28/10/14 | 20:00 | 50                               | 160                          | 206                                   | 210                        |
| 28/10/14 | 22:00 | 70                               | 150                          | 227                                   | 233                        |
| 29/10/14 | 00:00 | 60                               | 160                          | 215                                   | 225                        |
| 29/10/14 | 02:00 | 80                               | 175                          | 235                                   | 242                        |
| 29/10/14 | 04:00 | 70                               | 170                          | 223                                   | 239                        |
| 29/10/14 | 06:00 | 60                               | 170                          | 216                                   | 220                        |
| 29/10/14 | 08:00 | 70                               | 170                          | 247                                   | 253                        |
| 29/10/14 | 10:00 | 70                               | 175                          | 227                                   | 249                        |
| 29/10/14 | 12:00 | 70                               | 170                          | 246                                   | 252                        |
| 29/10/14 | 14:00 | 80                               | 180                          | 235                                   | 247                        |
| 29/10/14 | 16:00 | 60                               | 180                          | 227                                   | 237                        |
| 29/10/14 | 18:00 | 80                               | 180                          | 251                                   | 260                        |
| 29/10/14 | 20:00 | 74                               | 175                          | 233                                   | 242                        |
| 29/10/14 | 22:00 | 80                               | 180                          | 238                                   | 254                        |
| 30/10/14 | 00:00 | 80                               | 180                          | 230                                   | 242                        |
| 30/10/14 | 02:00 | 80                               | 180                          | 255                                   | 265                        |
| 30/10/14 | 04:00 | 70                               | 175                          | 233                                   | 245                        |
| 30/10/14 | 06:00 | 80                               | 180                          | 238                                   | 254                        |
| 30/10/14 | 08:00 | 80                               | 180                          | 238                                   | 262                        |
| 30/10/14 | 10:00 | 80                               | 180                          | 223                                   | 237                        |
| 30/10/14 | 12:00 | 75                               | 180                          | 239                                   | 245                        |
| 30/10/14 | 14:00 | 80                               | 175                          | 216                                   | 229                        |
| 30/10/14 | 16:00 | 70                               | 170                          | 222                                   | 240                        |
| 30/10/14 | 18:00 | 60                               | 170                          | 240                                   | 245                        |
| 30/10/14 | 20:00 | 78                               | 180                          | 250                                   | 270                        |
| 30/10/14 | 22:00 | 80                               | 170                          | 225                                   | 244                        |
| 31/10/14 | 00:00 | 2.5                              | 180                          | 233                                   | 247                        |
| 31/10/14 | 02:00 | 70                               | 170                          | 211                                   | 228                        |
| 31/10/14 | 04:00 | 72                               | 175                          | 232                                   | 241                        |
| 31/10/14 | 06:00 | 60                               | 170                          | 221                                   | 232                        |
| 31/10/14 | 08:00 | 70                               | 180                          | 252                                   | 260                        |
| 31/10/14 | 10:00 | 70                               | 170                          | 222                                   | 240                        |
| 31/10/14 | 12:00 | 80                               | 160                          | 233                                   | 249                        |
| 31/10/14 | 14:00 | 40                               | 160                          | 210                                   | 225                        |
| 31/10/14 | 16:00 | 80                               | 180                          | 237                                   | 247                        |
| 31/10/14 | 18:00 | 80                               | 180                          | 250                                   | 266                        |
| 31/10/14 | 20:00 | 82                               | 180                          | 225                                   | 233                        |
| 31/10/14 | 22:00 | 60                               | 180                          | 249                                   | 257                        |
| 01/11/14 | 00:00 | 50                               | 180                          | 236                                   | 239                        |
| 01/11/14 | 02:00 | 65                               | 180                          | 249                                   | 252                        |
| 01/11/14 | 04:00 |                                  |                              |                                       |                            |
| 01/11/14 | 06:00 |                                  |                              |                                       |                            |

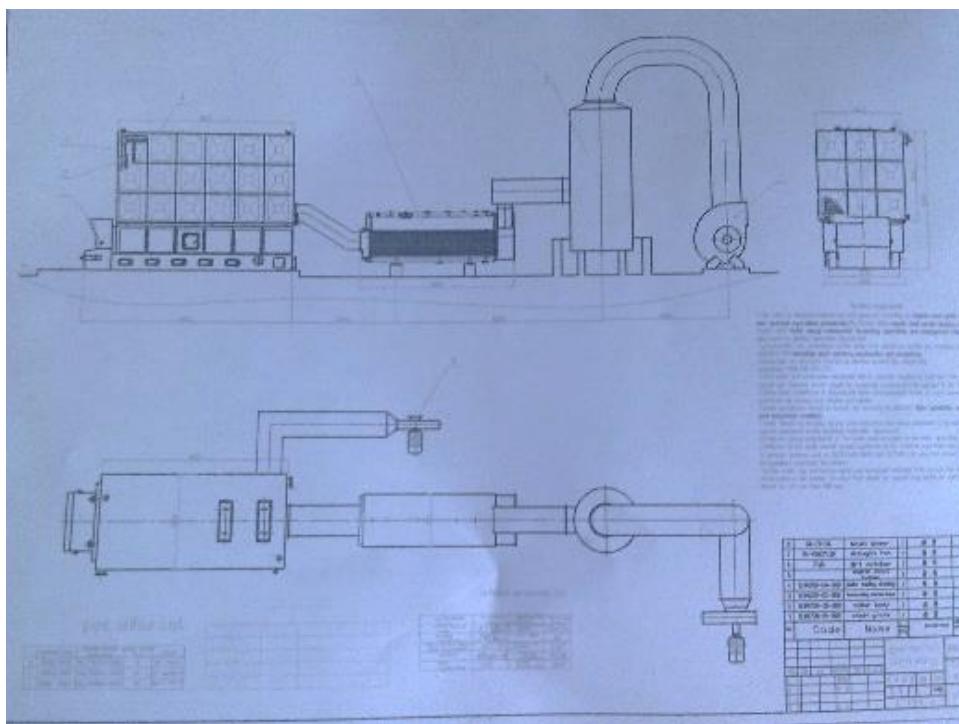
Fuente: Textisur.

Anexo 8. **Foto de la Libertad, empresa que genera vapor para la fábrica**



Fuente: Textisur.

Anexo 9. **Plano de cimentación de la caldera**



Fuente: Textisur.