







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

## **GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL RESIDUO DEL PROCESO DEL CAFÉ**

**Marvin Josué Díaz Del Cid**

Asesorado por el Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

Guatemala, noviembre de 2016



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL RESIDUO DEL  
PROCESO DEL CAFÉ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**MARVIN JOSUÉ DÍAZ DEL CID**

ASESORADO POR EL ING. HUGO HUBERTO RIVERA PÉREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2016



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 Córdoba         |
| 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. Hugo Humberto Rivera Pérez      |
| EXAMINADOR  | Ing. Sergio Roberto Barrios Sandoval |
| EXAMINADORA | Inga. Yocasta Ivanobla Ortiz Del Cid |
| 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:

### **GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL RESIDUO DEL PROCESO DEL CAFÉ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 27 de enero de 2016.

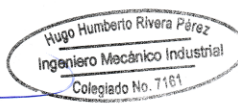
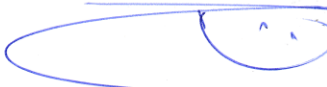
**Marvin Josué Díaz Del Cid**

Guatemala 23 de junio de 2016

**Ingeniero Industrial**  
**Juan José Peralta Dardón**  
**Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**

Por medio de la presente hago de su conocimiento que revisé y estoy de acuerdo con el trabajo de graduación presentado por el estudiante Marvin Josué Díaz Del Cid que se identifica con carné No. 201114086 de la Facultad de Ingeniería, USAC, de la carrera de Ingeniería Mecánica Industrial, titulado "**Generación de energía eléctrica mediante el residuo del proceso de café**",

Sin otro particular:



Hugo Humberto Rivera Pérez  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado 7,161

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.REV.EML.140.016

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL RESIDUO DEL PROCESO DEL CAFÉ**, presentado por el estudiante universitario **Marvin Josué Díaz Del Cid**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Inga. Rosa Amarillis Dubón Mazariegos  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, septiembre de 2016.

/mgp

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.DIR.EMI.204.016

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 titulado **GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL RESIDUO DEL PROCESO DE CAFÉ**, presentado por el estudiante universitario **Marvin Josué Díaz Del Cid**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑADA TODOS”

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
DIRECTOR a.i.  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, noviembre de 2016.

/mgp

Universidad de San Carlos  
De Guatemala

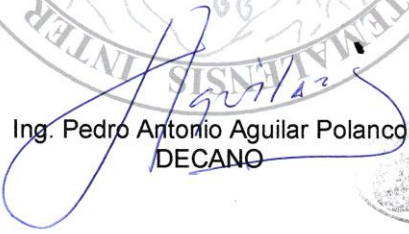


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.557-2016

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: **GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL RESIDUO DEL PROCESO DEL CAFÉ**, presentado por el estudiante universitario: **Marvin Josué Díaz Del Cid**, 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, noviembre de 2016

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>Dios</b>         | Por guiarme hacia el camino correcto.  |
| <b>Mis padres</b>   | Héctor Daniel Díaz Barrios y Rosa Marina Del Cid Albizures, por su apoyo y amor. |
| <b>Mis hermanos</b> | Daniel Orlando Díaz Del Cid y Evelyn Susana Díaz Del Cid.                        |
| <b>Abuelos</b>      | Por ser, también, un gran apoyo en mi vida, por su atención y consejos.          |

## **AGRADECIMIENTOS A:**

|  |  |
|--|--|
| <b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b> | Por ser una importante influencia en mi vida, y darme la oportunidad de estudiar en sus instalaciones. |
| <b>Facultad de Ingeniería</b>                    | Por darme los conocimientos que me servirán en la vida.  |
| <b>Mis amigos de la Facultad</b>                 | Manuel Yantuche, Walmer Rodas, Herler Torres, Jorge Santos, Pedro Us etc.                              |
| <b>Ing. Hugo Rivera</b>                          | Por haberme asesorado en este trabajo de graduación.   |



## ÍNDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....  | VII  |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....   | XI   |
| GLOSARIO .....  | XIII |
| RESUMEN.....  | XV   |
| OBJETIVOS.....  | XVII |
| INTRODUCCIÓN .....  | XIX  |
| 1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....                                   | 1    |
| 1.1. Historia .....   | 1    |
| 1.2. Localización.....  | 3    |
| 1.3. Estructura organizacional .....                                | 4    |
| 1.3.1. Administrador.....   | 4    |
| 1.3.2. Departamento de Producción .....                             | 5    |
| 1.3.2.1. Supervisor de producción .....                             | 5    |
| 1.3.2.2. Operarios.....   | 6    |
| 1.3.2.3. Bodeguero .....  | 6    |
| 1.3.3. Departamento de Contabilidad .....                           | 6    |
| 1.3.4. Departamento de Mantenimiento.....                           | 6    |
| 1.4. Principal actividad productora.....                            | 7    |
| 1.5. Descripción del proceso de producción del beneficio seco ..... | 8    |
| 1.5.1. Tolva o receptor .....                                       | 8    |
| 1.5.2. Prelimpiadora.....   | 9    |
| 1.5.3. Trilladora.....  | 9    |
| 1.5.4. Elevadores de cangilones.....                                | 10   |
| 1.5.5. Catadora .....   | 10   |
| 1.5.6. Clasificadoras gravimétricas .....                           | 10   |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 1.5.7.   | Clasificadora por tamaño.....                | 11 |
| 1.5.8.   | Clasificadora electrónica .....              | 11 |
| 1.5.9.   | Pesado y cosido .....                        | 11 |
| 1.6.     | Descripción gráfica del proceso .....        | 12 |
| 2.       | SITUACIÓN ACTUAL .....                       | 13 |
| 2.1.     | Estudio de demanda .....                     | 13 |
| 2.1.1.   | Análisis de comportamiento histórico .....   | 13 |
| 2.1.2.   | Demanda actual .....                         | 15 |
| 2.1.3.   | Pronóstico de la demanda futura.....         | 17 |
| 2.1.3.1. | Pronóstico estadístico .....                 | 17 |
| 2.2.     | Estudio de la oferta .....                   | 20 |
| 2.2.1.   | Análisis de comportamiento histórico .....   | 21 |
| 2.2.2.   | Oferta actual.....                           | 23 |
| 2.2.3.   | Pronóstico de la oferta futura .....         | 24 |
| 2.2.3.1. | Pronóstico estadístico .....                 | 24 |
| 2.2.4.   | Costo por KW/h consumido.....                | 25 |
| 2.2.5.   | Parámetros de la línea de alimentación ..... | 27 |
| 2.2.5.1. | Cable.....                                   | 28 |
| 2.2.5.2. | Voltaje .....                                | 29 |
| 2.2.5.3. | Corriente.....                               | 29 |
| 2.2.5.4. | Potencia .....                               | 29 |
| 2.3.     | Distribución eléctrica .....                 | 30 |
| 2.3.1.   | Tipo de cable.....                           | 30 |
| 2.3.2.   | Tablero principal.....                       | 31 |
| 2.3.3.   | Planos de distribución .....                 | 31 |
| 3.       | ESTUDIO TÉCNICO-INGENIERÍA .....             | 33 |
| 3.1.     | Características de la tecnología .....       | 33 |
| 3.1.1.   | Generador eléctrico.....                     | 33 |
| 3.1.2.   | Turbina .....                                | 34 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 3.1.3.    | Caldera .....  | 35 |
| 3.1.3.1.  | Combustible necesario para la caldera.....                     | 36 |
| 3.1.4.    | Condensador .....  | 37 |
| 3.1.5.    | Bomba .....  | 37 |
| 3.2.      | Ciclo Rankine ideal para los ciclos de potencia de vapor ..... | 38 |
| 3.2.1.    | Análisis de energía del ciclo Rankine ideal.....               | 39 |
| 3.3.      | Diseño de la red de vapor.....                                 | 44 |
| 3.3.1.    | Dimensionamiento de la tubería .....                           | 44 |
| 3.3.1.1.  | Dimensionamiento de tubería según la velocidad de vapor .....  | 46 |
| 3.3.2.    | Sistema de tubería.....  | 51 |
| 3.3.2.1.  | Tubería .....  | 51 |
| 3.3.2.2.  | Codos .....  | 52 |
| 3.3.2.3.  | Reducciones.....   | 53 |
| 3.3.2.4.  | Te .....   | 53 |
| 3.3.2.5.  | Derivación en ángulo .....                                     | 54 |
| 3.3.2.6.  | Cruces .....   | 54 |
| 3.3.2.7.  | Juntas y uniones.....  | 54 |
| 3.3.2.8.  | Niples y uniones .....   | 55 |
| 3.3.2.9.  | Tapones.....   | 55 |
| 3.3.2.10. | Soportes de la tubería .....                                   | 55 |
| 3.3.3.    | Aislamiento térmico .....                                      | 56 |
| 3.3.3.1.  | Dimensionamiento del aislante .....                            | 56 |
| 3.3.3.2.  | Selección del aislante térmico .....                           | 60 |
| 3.3.4.    | Accesorios y equipos auxiliares.....                           | 62 |
| 3.3.4.1.  | Manómetros.....  | 62 |
| 3.3.4.2.  | Termómetros .....  | 62 |
| 3.3.4.3.  | Válvulas .....   | 63 |

|      |  |  |    |
|------|--|--|----|
|      | 3.3.4.4.                               | Purgadores.....  | 63 |
|      | 3.3.4.5.                               | Separador de gotas.....  | 68 |
|      | 3.3.4.6.                               | Filtros.....   | 68 |
|      | 3.3.5.                                 | Distribución eléctrica .....   | 69 |
|      | 3.3.5.1.                               | Líneas de transmisión .....  | 69 |
| 4.   | IMPLEMENTACIÓN Y MANTENIMIENTO .....   |  | 71 |
| 4.1. | Implementación.....                    |  | 71 |
|      | 4.1.1.                                 | Diseño de la planta.....   | 71 |
|      | 4.1.2.                                 | Plano de planta .....  | 71 |
|      | 4.1.3.                                 | Distribución de vapor.....   | 72 |
|      | 4.1.4.                                 | Montaje del equipo .....   | 74 |
|      | 4.1.5.                                 | Plano de distribución eléctrica.....   | 75 |
| 4.2. | Mantenimiento.....                     |  | 77 |
|      | 4.2.1.                                 | Plan de mantenimiento preventivo .....   | 77 |
|      | 4.2.1.1.                               | Turbina .....  | 82 |
|      | 4.2.1.2.                               | Caldera.....   | 86 |
| 5.   | ESTUDIO LEGAL E IMPACTO AMBIENTAL..... |  | 89 |
| 5.1. | Estudio legal.....                     |  | 89 |
|      | 5.1.1.                                 | Acuerdo Gubernativo 52-2003, ley de incentivos<br>para el desarrollo de proyectos de energía<br>renovable..... | 89 |
|      | 5.1.2.                                 | Decreto 68-86, ley de protección y mejoramiento<br>del medio ambiente .....                                    | 90 |
|      | 5.1.3.                                 | Decreto 93-96, ley general de electricidad .....   | 91 |
| 5.2. | Estudio de impacto ambiental .....     |  | 91 |
|      | 5.2.1.                                 | Descripción general del proyecto .....   | 92 |
|      | 5.2.2.                                 | Tipos de residuos producidos.....  | 93 |
|      | 5.2.2.1.                               | Sólidos.....   | 93 |
|      | 5.2.2.2.                               | Líquidos.....  | 94 |

|        |          |  |                                      |     |
|--------|----------|--|--------------------------------------|-----|
|        | 5.2.2.3. | Gaseosos.....  | 95                                   |     |
|        | 5.2.2.4. | Sonoros .....  | 95                                   |     |
|        | 5.2.2.5. | Vibraciones.....   | 96                                   |     |
| 5.2.3. |          | Evaluación de los efectos posibles directos e indirectos del proyecto..... | 96                                   |     |
|        | 5.2.3.1. | Población.....   | 96                                   |     |
|        | 5.2.3.2. | Flora y fauna.....   | 97                                   |     |
|        | 5.2.3.3. | Suelo .....  | 97                                   |     |
|        | 5.2.3.4. | Aire y factores climáticos .....   | 97                                   |     |
| 5.2.4. |          | Medidas de mitigación .....  | 98                                   |     |
|        | 5.2.4.1. | Residuos sólidos.....  | 98                                   |     |
|        | 5.2.4.2. | Residuos líquidos .....  | 98                                   |     |
|        | 5.2.4.3. | Emisiones a la atmosfera .....   | 99                                   |     |
|        | 5.2.4.4. | Ruido .....  | 100                                  |     |
|        | 5.2.4.5. | Cimentación.....   | 100                                  |     |
| 6.     |          | ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO.....  | 103                                  |     |
| 6.1.   |          | Estudio económico .....  | 103                                  |     |
|        | 6.1.1.   | Costos de inversión inicial .....  | 103                                  |     |
|        |          | 6.1.1.1.   | Maquinaria y equipo .....            | 103 |
|        |          | 6.1.1.2.   | Sistema eléctrico .....              | 103 |
|        |          | 6.1.1.3.   | Sistema de tubería.....              | 104 |
|        |          | 6.1.1.4.   | Accesorios y equipos auxiliares..... | 105 |
|        |          | 6.1.1.5.   | instalación y montaje de equipo..... | 106 |
|        | 6.1.2.   | Costos de producción .....   | 107                                  |     |
|        |          | 6.1.2.1.   | Mano de obra.....                    | 107 |
|        |          | 6.1.2.2.   | Mantenimiento .....                  | 107 |
|        | 6.1.3.   | Beneficio económico del proyecto .....                                     | 108                                  |     |
| 6.2.   |          | Estudio financiero .....   | 108                                  |     |
|        | 6.2.1.   | Índices de evaluación del proyecto.....                                    | 108                                  |     |

|                       |   |     |
|-----------------------|---|-----|
| 6.2.1.1.              | Flujo neto de efectivo .....                          | 108 |
| 6.2.1.2.              | Valor actual neto (VAN).....                          | 110 |
| 6.2.1.3.              | Tasa interna de retorno (TIR) .....                   | 110 |
| 6.2.1.4.              | Relación beneficio costo (RBC).....                   | 111 |
| 6.2.1.5.              | Período de recuperación de la<br>inversión (PRI)..... | 112 |
| CONCLUSIONES.....     |   | 115 |
| RECOMENDACIONES ..... |   | 117 |
| BIBLIOGRAFÍA.....     |   | 119 |
| ANEXOS.....           |   | 121 |

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.  | Ubicación del Beneficio Santa Isabel, S.A. ....                       | 3  |
| 2.  | Organigrama del Beneficio Santa Isabel, S.A. ....                     | 4  |
| 3.  | Diagrama de recorrido del proceso .....                               | 12 |
| 4.  | Comportamiento de la demanda mensual de energía eléctrica .....       | 14 |
| 5.  | Comportamiento de la oferta anual de energía eléctrica.....           | 22 |
| 6.  | Producción de energía eléctrica.....                                  | 23 |
| 7.  | Suministro en media tensión .....                                     | 27 |
| 8.  | Acometida tres fases en media tensión a centro de transformación .... | 28 |
| 9.  | Distribución de energía eléctrica .....                               | 32 |
| 10. | Ciclo Rankine ideal simple .....                                      | 38 |
| 11. | Ciclo de Rankine por implementar .....                                | 40 |
| 12. | Simulación en programa PCT para determinar el diámetro de tubería.... | 51 |
| 13. | Codo a 90° .....  | 53 |
| 14. | Reducidor.....  | 53 |
| 15. | Te.....   | 54 |
| 16. | Unión y niple corto.....  | 55 |
| 17. | Aplicaciones típicas de un manómetro.....                             | 62 |
| 18. | Diferentes tipos de purgadores .....                                  | 66 |
| 19. | Pozo de goteo .....   | 67 |
| 20. | Separador de gotas.....   | 68 |
| 21. | Filtro.....   | 69 |
| 22. | Distribución de planta.....   | 71 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 23. | Sistema de purga de condensado .....            | 72  |
| 24. | Distribución de tubería de vapor .....          | 73  |
| 25. | Montaje de turbina .....                        | 74  |
| 26. | Montaje caldera .....                           | 75  |
| 27. | Distribución eléctrica desde el generador ..... | 76  |
| 28. | Flujo de efectivo.....                          | 109 |

## TABLAS

|        |   |    |
|--------|---|----|
| I.     | Consumo de KW/h de la empresa .....                       | 13 |
| II.    | Motores de la línea de producción 1 .....                 | 15 |
| III.   | Motores de la líneas de producción 2 y 3 .....            | 16 |
| IV.    | Resumen de demanda actual de la empresa .....             | 17 |
| V.     | Datos tabulados (24 datos).....                           | 18 |
| VI.    | Pronóstico de evaluación.....                             | 19 |
| VII.   | Datos tabulados (36 datos).....                           | 19 |
| VIII.  | Proyección de demanda de energía eléctrica (KW).....      | 20 |
| IX.    | Oferta total de energía por tecnología .....              | 22 |
| X.     | Ecuaciones normales de regresión lineal .....             | 24 |
| XI.    | Proyección de la oferta .....                             | 25 |
| XII.   | Detalles de cargos .....                                  | 27 |
| XIII.  | Características del conductor .....                       | 31 |
| XIV.   | Datos técnicos de la turbina SST-040.....                 | 34 |
| XV.    | Datos técnicos de la caldera CSPM.....                    | 35 |
| XVI.   | Medida de tuberías para distintos <i>Schedule</i> .....   | 46 |
| XVII.  | Datos necesarios para dimensionar la tubería.....         | 46 |
| XVIII. | Diámetros comerciales .....                               | 50 |
| XIX.   | Datos técnicos de la tubería que se pretende aislar ..... | 56 |
| XX.    | Densidad y conductividad térmica de fibra de vidrio ..... | 61 |



|         |  |     |
|---------|--|-----|
| XXI.    | Ficha histórica del equipo.....  | 79  |
| XXII.   | Hoja de ruta de mantenimiento .....  | 80  |
| XXIII.  | Orden de tarea de mantenimiento.....   | 81  |
| XXIV.   | Programa de mantenimiento preventivo (turbina) .....                         | 82  |
| XXV.    | Programa de mantenimiento preventivo (caldera) .....                         | 86  |
| XXVI.   | Costos de maquinaria y equipo .....  | 103 |
| XXVII.  | Costo del sistema eléctrico .....  | 103 |
| XXVIII. | Costos del sistema de tubería.....   | 104 |
| XXIX.   | Tramo de la tubería que transporta vapor sobrecalentado y vapor húmedo. .... | 105 |
| XXX.    | Tramo de retorno de condensado .....   | 105 |
| XXXI.   | Tramo del sistema de purga.....  | 106 |
| XXXII.  | Costos de instalación y montaje de equipo .....                              | 106 |
| XXXIII. | Costos de mano de obra .....   | 107 |
| XXXIV.  | Costos de mantenimiento.....   | 107 |
| XXXV.   | Flujo de efectivo para 10 años .....   | 109 |
| XXXVI.  | Período de recuperación de la inversión .....                                | 112 |



## LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo            | Significado  |
|--------------------|--|
| Q                  | Caudal volumétrico                                       |
| K                  | Conductividad  |
| $\rho$             | Densidad   |
| D                  | Diámetro   |
| $\Delta t$         | Diferencia de temperatura                                |
| $\eta$             | Eficiencia   |
| h                  | Entalpia   |
| S                  | Entropía   |
| $^{\circ}\text{C}$ | Grados centígrados                                       |
| g                  | Gravedad   |
| KJ                 | Kilojulio  |
| KW                 | Kilowatts  |
| PSI                | Libras por pulgada cuadrada ( <i>Pound Square Inch</i> ) |
| m                  | Metros   |
| m <sub>cv</sub>    | Metros de columna de vapor                               |
| mm                 | Milímetros   |
| %                  | Porcentaje   |
| Plg                | Pulgada  |
| r                  | Radio  |
| r.p.m              | Revoluciones por minuto                                  |
| $\epsilon$         | Rugosidad  |
| $\vartheta$        | Viscosidad cinética                                      |
| $\mu$              | Viscosidad dinámica                                      |



## GLOSARIO

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>Biomasa</b>        | Material orgánico originado en un proceso biológico, utilizable como fuente de energía.                        |
| <b>Café oro</b>       | Grano de café luego de que se ha extraído la película que lo cubre.  |
| <b>Café pergamino</b> | Grano de café cuando todavía tiene la película que lo cubre.   |
| <b>Calor</b>          | Energía que hace que un cuerpo aumente su temperatura.   |
| <b>Cascarilla</b>     | Película que cubre el grano de café luego de ser retirada.   |
| <b>Combustión</b>     | Reacción química en la que un elemento combustible se combina con otro comburente desprendiendo calor y óxido. |
| <b>Convección</b>     | Es el calor transferido por mezcla de una parte de fluido con otra.  |
| <b>Densidad</b>       | Magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen.                                   |
| <b>Entalpía</b>       | Es la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico.                                     |

|                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>Pergamino</b>        | Película que cubre el grano de café.   |
| <b>Poder calorífico</b> | Cantidad de calor producido en la combustión de los componentes.   |
| <b>Presión</b>          | Fuerza ejercida perpendicularmente a una superficie por un fluido, por el peso o empuje de algo.   |
| <b>Radiación</b>        | Es el calor transferido en ondas desde un cuerpo a otro.   |
| <b>Temperatura</b>      | Es el indicativo de calor interno que posee un cuerpo.   |
| <b>TIR</b>              | Tasa interna de retorno es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para conocer la factibilidad de diferentes opciones de inversión.      |
| <b>VAN</b>              | Valor actual neto es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. |
| <b>Vapor</b>            | Es un gas que se obtiene por evaporación o ebullición del agua líquida o por sublimación del hielo.  |
| <b>Viscosidad</b>       | Es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales.   |

## RESUMEN

Se pretende implementar un sistema de generación de energía eléctrica utilizando vapor como fluido de trabajo, para ello se necesita una caldera para producir las condiciones ideales del vapor capaz de hacer funcionar la turbina y así poder accionar el generador eléctrico.

Al generar vapor en condiciones específicas se desarrolló un sistema de transporte y distribución de vapor, así también para el sistema de condensado. Para reducir pérdidas de calor causadas por la diferencia de temperatura se propuso el tipo de material para aislar las tuberías así como su espesor para ahorrar combustible y dinero.

Como el proyecto es de factibilidad se realizó un estudio legal con las leyes del país concerniente a la investigación, para conocer si hay un impedimento en el desarrollo del mismo. También se elaboró un estudio de impacto ambiental que servirá para conocer los riesgos latentes expuestos por el proyecto al medio ambiente y la población cercana a la institución, con ello se analizaron los diferentes tipos de residuos que se generará y sus medidas de mitigación para controlar, reducir o corregir la magnitud de los impactos negativos al ambiente.

Finalmente, se presentan los detalles de los costos de la instalación y montaje de los equipos así también el precio de los equipos, tubería, aislamiento y sus accesorios para llevar a cabo la implementación del proyecto y, por último, se hace un análisis financiero para determinar la tasa interna de retorno, valor actual neto, relación beneficio costo, etc.





# OBJETIVOS

## General

Implementar un sistema de generación de energía eléctrica capaz de satisfacer la demanda interna del beneficio Santa Isabel, S.A. utilizando cascabillo de café como fuente de energía.

## Específicos

1. Determinar las condiciones del vapor dentro del sistema termodinámico.
2. Obtener el diámetro ideal de la tubería para el transporte del vapor, así también el espesor óptimo de aislante térmico.
3. Diseñar la planta y montar los diferentes tipos de equipos con su respectivo sistema de distribución de fluido.
4. Disminuir el consumo de combustibles fósiles, mediante la implementación de nuevas fuentes de energía renovable que, a su vez, produce una reducción en los impactos ambientales.



## INTRODUCCIÓN

El beneficio Santa Isabel, S.A. produce cascabillo de café como residuos de su proceso productivo, el cascabillo de café es un tipo de biomasa que se puede utilizar como combustible sólido para impulsar máquinas y equipos capaces de generar energía eléctrica, esta energía puede ser aprovechable por el Beneficio para satisfacer su demanda interna de energía eléctrica.

Este trabajo de graduación está estructurado en seis capítulos, el primero presenta una breve descripción de la empresa, se detalla su historia, su estructura organizacional, su principal actividad productora y su proceso de producción.

El segundo muestra la situación actual de la empresa, su demanda de energía eléctrica, los costos que tiene la organización por cada KW/h consumido y, finalmente, los parámetros de la línea de alimentación.

El tercer capítulo se refiere al estudio técnico ingenieril, donde se estudia la tecnología por implementar, el análisis del ciclo de Rankine, el diseño de la red de vapor, donde se calcula el diámetro de la tubería, así mismo el espesor óptimo del aislante térmico.

El cuarto capítulo se concentra en la implementación e instalación de la maquinaria y los equipos, su distribución en la planta y su montaje. Para finalizar se presenta un plan de mantenimiento preventivo para la turbina y la caldera.

En el quinto capítulo se elabora un estudio legal, donde se analizan las leyes que rigen las actividades de la investigación, así mismo se presenta un estudio de impacto ambiental donde se evalúan los riesgos provocados en la implementación del proyecto.

Finalmente, en el sexto capítulo se detallan los costos que se obtendrán en la realización del proyecto, también se proporciona un estudio financiero donde se analizan los índices de evaluación.

# **1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

## **1.1. Historia**

El beneficio Santa Isabel fue fundado en 1964, por Emilie Sterkel, quien desempeñó el cargo de gerente general. También hay que destacar que era una de las más altas autoridades cafetaleras del país y que, dicha empresa contaba entre su personal con hombres sumamente experimentados en esta rama de la agricultura.

El 20 de noviembre del mismo año se llevó a cabo la inauguración, donde asistieron distinguidas e importantes autoridades como el ministro de agricultura, Carlos H. de León, varios finqueros y caficultores. El acto se inició con la exhibición de las máquinas y luego fue la bendición de todas las instalaciones, entre las que destacan la moderna maquinaria, los servicios para los trabajadores y oficinas, así como el resto del edificio y sus amplias bodegas, que tienen la capacidad para almacenar tanto el grano propiedad de la firma, como todo el que llegue al beneficio.

El beneficio Santa Isabel representó una inversión de Q. 120 000,00 y dio la oportunidad de ganar el sustento diario a más de veinte guatemaltecos. Fuera de esto es digno de mencionar el hecho de que contaba con la más moderna maquinaria, vendida e instalada por las firmas Agencias Hamburguesas y Juan U. Maegli y Co. Ltda., entre las que se cuentan tolvas, elevadores de café, transportadores, trilladoras, catadoras y seleccionadoras electrónicas del grano.

Con respecto al beneficio Santa Isabel y en particular por lo que se refiere a su magnífica y moderna maquinaria, es de señalar que esta, para orgullo de los guatemaltecos, es nacional; fue instalado por técnicos del país, a excepción de las seleccionadoras eléctricas Elexo, que vendió la firma Juan U. Maegli y Co.

Casa Agrícola Mercantil y Exportación de Café fue fundada en 1952 por una familia alemana que había sido propietaria de una finca de café antes de la Segunda Guerra Mundial y cuando trataban de reconstruir sus vidas, miró para proporcionar a su patria con el café de alta calidad. Como es común con la cultura alemana todos los aspectos de la empresa se ejecutan con precisión y honestidad. En pocos años, la empresa se había establecido dentro del mundo del café como un exportador confiable que podía producir una calidad consistente para los consumidores y proporcionar un gran servicio para los productores.

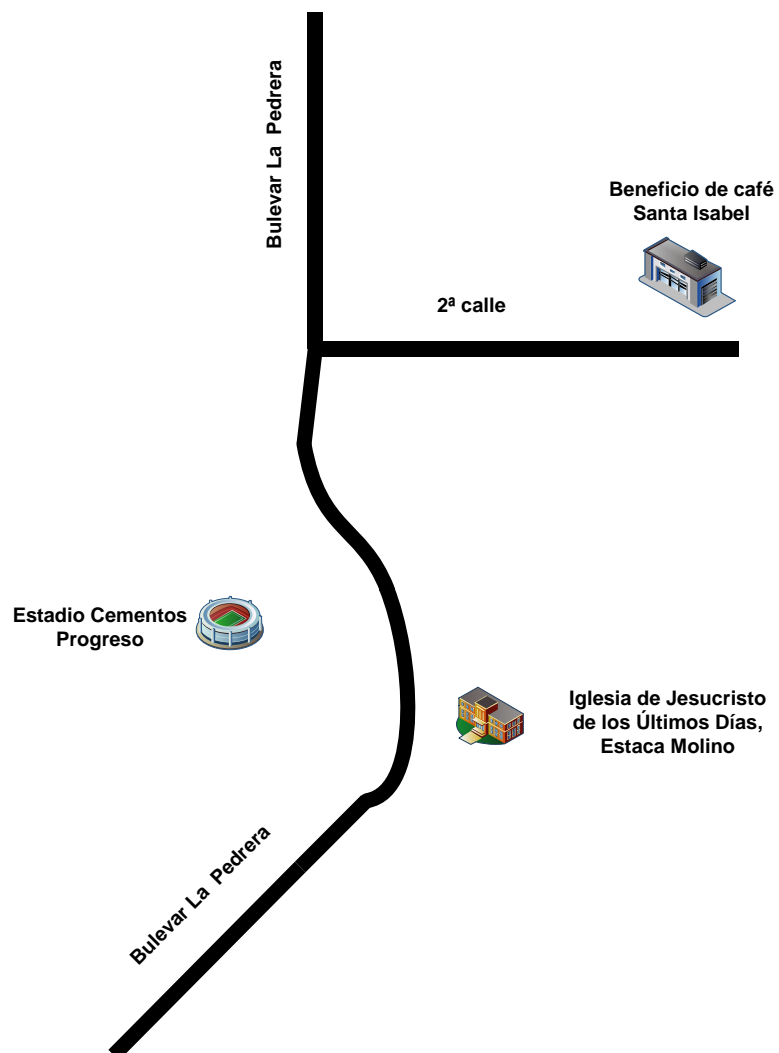
Como exportador independiente en un mundo globalizado, siempre es un reto competir con las grandes empresas multinacionales y con muchos más jugadores en un mercado cuyo desafío en los últimos años es mayor. Con independencia viene la versatilidad, lo que permite el comercio de café de todos tipos de productores y su venta a, prácticamente, cualquier persona interesada, sin restricciones. Con un buen servicio, la calidad, la honestidad y la trazabilidad, se asegura de seguir siendo un actor importante en el mundo del café.

En última instancia, después de 60 años, Camec ha mantenido la integridad y la visión de sus fundadores y ha demostrado ser un elemento sólido en una industria a menudo volátil.

## 1.2. Localización

Beneficio Santa Isabel, S.A. está ubicado en el bulevar La Pedrera, 2ª calle lote 69, colonia Santa Isabel, zona 6, Guatemala, C.A. en la figura 1 se presenta un bosquejo de su ubicación:

Figura 1. **Ubicación del Beneficio Santa Isabel, S.A.**

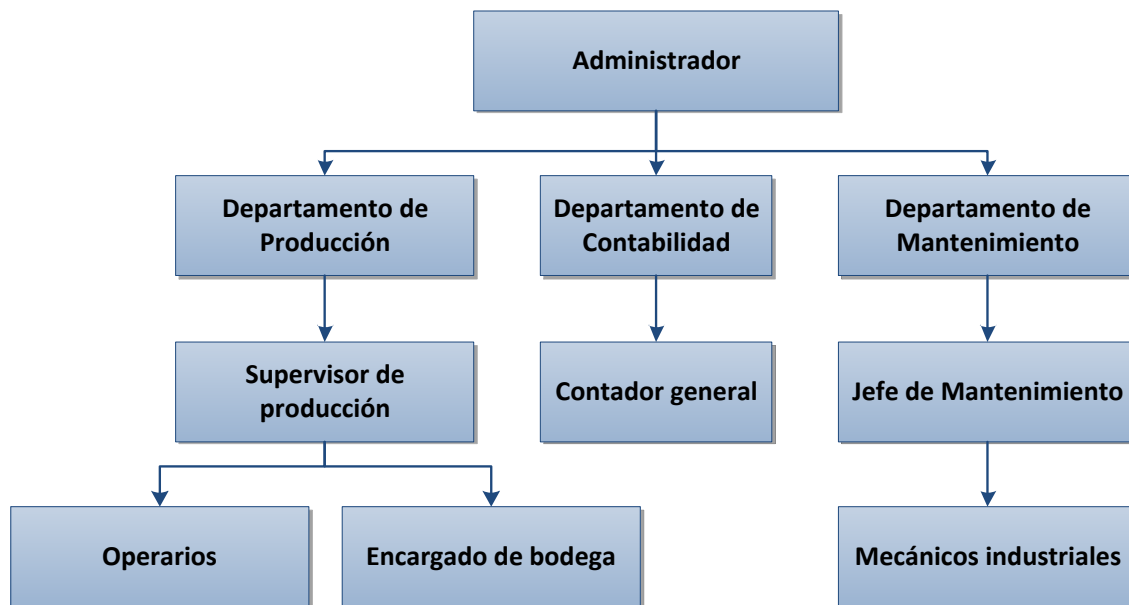


Fuente: elaboración propia.

### 1.3. Estructura organizacional

A continuación se muestra la estructura organizacional de la empresa.

Figura 2. Organigrama del Beneficio Santa Isabel, S.A.



Fuente: elaboración propia.

#### 1.3.1. Administrador

El administrador es el encargado de planear, organizar, dirigir y controlar la asignación de recursos humanos, financieros y de información para lograr los objetivos de la organización. Además, tiene la responsabilidad de ejecutar las políticas establecidas por los propietarios de la empresa.

Entre las funciones que realiza esta persona están: recibir las órdenes de trabajo de las oficinas centrales y con ellas planificar las fechas y el volumen de la materia prima por procesar.



También comprobar y verificar la cantidad y la calidad que se especifica en las órdenes de trabajo previo a realizar el embarque, ya que si se encuentra deficiencias en los lotes, ordena nuevas instrucciones al Departamento de Producción para que se realice un segundo proceso de rectificación.

### **1.3.2. Departamento de Producción**

El Departamento de Producción está conformado por los operarios que manejan y supervisan la maquinaria, los que descargan y cargan la materia prima (café) y el personal que se encargan de pesar y coser los sacos, todos ellos supervisados por el supervisor de producción.

#### **1.3.2.1. Supervisor de producción**

El supervisor de producción es el encargado de coordinar las actividades del proceso de producción, recepción, almacenaje, movilización, y la entrega del producto. Además, se encarga de supervisar las labores del bodeguero y el personal que se encarga de pesar y coser los sacos de yute.

También se encarga de verificar la existencia de materia prima necesaria para cumplir con la planificación de producción. Dentro de sus deberes se encuentra: la recepción de las órdenes de producción, las cuales le permiten conocer qué tipo de café se va a procesar, el tipo de mezcla que se va a preparar según la exigencia de los clientes.

### **1.3.2.2. Operarios**

Los operarios son los encargados de manejar la maquinaria clasificadora de los granos de café, los que no cumplan con la calidad exigida por los clientes, aquellos granos que se encuentran dañados, huecos, argeñados o son de tamaño diferente a lo especificado por los compradores, son rechazados.

### **1.3.2.3. Bodeguero**

El bodeguero se encarga de llevar el control del nivel de la existencia de la materia prima que se necesita para el proceso productivo, cuando la existencia disminuye el encargado de bodega debe notificar al supervisor para que este haga el proceso necesario para la compra de nueva materia prima.

### **1.3.3. Departamento de Contabilidad**

Es responsable de que se obtenga correctamente los registros de contabilidad y sus respaldos, de la preparación de los informes financieros y estadísticos que sean necesarios. Además proporcionar información necesaria para la dirección de la empresa.

### **1.3.4. Departamento de Mantenimiento**

La responsabilidad de este departamento es mantener en buenas condiciones, la maquinaria, herramienta y equipo de trabajo, para así prolongar su vida útil además, reducir los paros por fallas mecánicas durante la producción. Esto permite un mayor desenvolvimiento y seguridad evitando, en parte, riesgos en el área laboral.

El Departamento de Mantenimiento está involucrado en el quehacer de la empresa, asumiendo la operación, adiestramiento, asesoría técnica, mantenimiento y reparación de la maquinaria, equipos e instalaciones, realizando las actividades de manera oportuna y eficiente.

#### **1.4. Principal actividad productora**

El beneficio seco es el segundo proceso de transformación al que son sometidos los granos de café. En esta etapa la materia prima es el café pergamino procedente del beneficio húmedo, la cual se procesa para obtener el café oro. En el beneficio seco es eliminado el pergamino o cascarilla (endocarpio), el cual constituye aproximadamente un 20 % en peso del café pergamino.

La función del beneficio seco no es únicamente la eliminación de la cascarilla; también se desecha la mayoría de granos defectuosos mediante procesos mecánicos y si la preparación lo exige, con la intervención de elemento humano para un escogido manual (bandas de escogido). Esto último ya no es tan usual, ya que la mayoría de los beneficios han optado por incrementar la capacidad de escogido electrónico, reduciendo cada vez más esta práctica.

El principio de la calidad del café rige todavía en este proceso y se necesitan cuidados intensos en la manipulación del producto en el beneficio seco, desde el recibo hasta el envío del producto al exterior.

En Guatemala, el beneficio seco desempeña un papel muy importante ya que es el proceso que se encarga de adecuar el producto a las cláusulas de contrato que el comprador (importador o tostador) exige.

En este se utiliza maquinaria especial que requiere de operarios capacitados para su manejo correcto, lo que supone inversiones grandes que, a menudo el productor no está dispuesto a hacer solo para uso específico de su finca.

Sin profundizar en un caso específico, se puede decir que el beneficio seco para preparaciones del café conlleva muchas responsabilidades y riesgos al igual que los demás procesos a los que el café es sometido. Cada lote de café que se trabaja está sujeto a una preparación exigida por el comprador. La actividad del beneficio seco no solo se limita a la eliminación de la cascarilla o "trillado", sino también a satisfacer las exigencias de los compradores en lo que a preparaciones se refiere.

## **1.5. Descripción del proceso de producción del beneficio seco**

En el beneficio seco, se puede encontrar una diversidad de máquinas que son vitales para la transformación del café pergamino a café oro de exportación.

### **1.5.1. Tolva o recibidor**

La tolva es un agujero en el suelo que posee un enrejado con el fin de eliminar objetos grandes que podrían dañar la maquinaria durante el proceso. Todo el café que se deposite aquí abastecerá la maquinaria durante el proceso de trillado y clasificado.

### **1.5.2. Prelimpiadora**

La pre-limpiadora es la segunda fase de la limpieza del café, esta máquina tiene la forma de una zaranda que trabaja mediante vibraciones, también posee un imán que detiene los objetos metálicos que podrían dañar la maquinaria en el resto del proceso.

### **1.5.3. Trilladora**

Aquí es donde el verdadero proceso empieza, la trilladora es la máquina que se encarga de remover el pergamino del grano de café, convirtiéndolo en café oro por medio de un tornillo sin fin que le aplica fricción.

En el momento en que el café sale de la trilladora automáticamente pasa a través del succionador que remueve el pergamino o cascarilla. Esta última se envía a la bodega de pergamino y el café oro es trasladado a la siguiente etapa del proceso.

El proceso de trilla afectará en gran manera al grado de secamiento que se le haya dado al café en el beneficio húmedo. Si un café es demasiado seco, la trilladora quebrará un mayor porcentaje de grano que será succionado junto con el pergamino, o bien, eliminado posteriormente por las zarandas de clasificación por tamaño. Esto afectará en forma negativa el rendimiento o la conversión pergamino /oro.

Por otro lado, si el café contiene más del 12 % de humedad, los granos serán aplastados y blanqueados por la combinación de fricción y la temperatura.

#### **1.5.4. Elevadores de cangilones**

La maquinaria es abastecida utilizando elevadores que llevan el café a cada etapa del proceso, los elevadores consisten en fajas rotativas con pequeños recipientes o cangilones los que, a su vez, elevan el café a la altura necesaria para abastecer a la maquinaria sin detener el proceso.

#### **1.5.5. Catadora**

Después de haber trillado, la siguiente etapa es la selección y limpieza que exige la preparación, se inicia en el momento en que ingresa a las catadoras. La catadora realiza una clasificación por densidad, la cual elimina granos que no poseen el peso de un grano normal, tales como los quebrados, verdes y argeñados.

La estructura que tienen estas máquinas es de forma vertical, además, poseen un ventilador en la parte inferior que genera una corriente de aire ascendente. Estas son alimentadas en la parte superior, dejando caer el café sobre la fuente de aire que es impulsada hacia arriba. De manera que son eliminados los granos menos densos.

#### **1.5.6. Clasificadoras gravimétricas**

Esta máquina utiliza la combinación correcta de aire, gravedad y vibración para clasificar los granos de café, en la parte superior tiene divisiones donde clasifica los granos por categoría, la primera elimina granos grandes y deformes en la segunda de primera calidad, en la tercera y cuarta, café pequeño y poco denso que la clasificadora anterior no pudo eliminar.

### **1.5.7. Clasificadora por tamaño**

Las maquinas más utilizadas en la clasificación por tamaño son las zarandas vibratorias, porque siempre en las preparaciones se exige un determinado tamaño de grano homogéneo, la clasificación puede variar desde 12/64 hasta 20/64 de pulgada. Esto dependiendo del cliente o consumidor.

### **1.5.8. Clasificadora electrónica**

En algunos casos los granos defectuosos tienen el peso y la forma de uno normal, y la única forma para detectarlos es por medio de su coloración. Por lo que no pueden ser separados con las máquinas descritas anteriormente, por eso se necesita una máquina que se encargue de eliminar todo aquel grano que no encaje dentro del patrón de color. Todos los granos que ingresan a la máquina son analizados y los que no cumplan con el color anteriormente configurado serán eliminados por un impulso de aire.

### **1.5.9. Pesado y cosido**

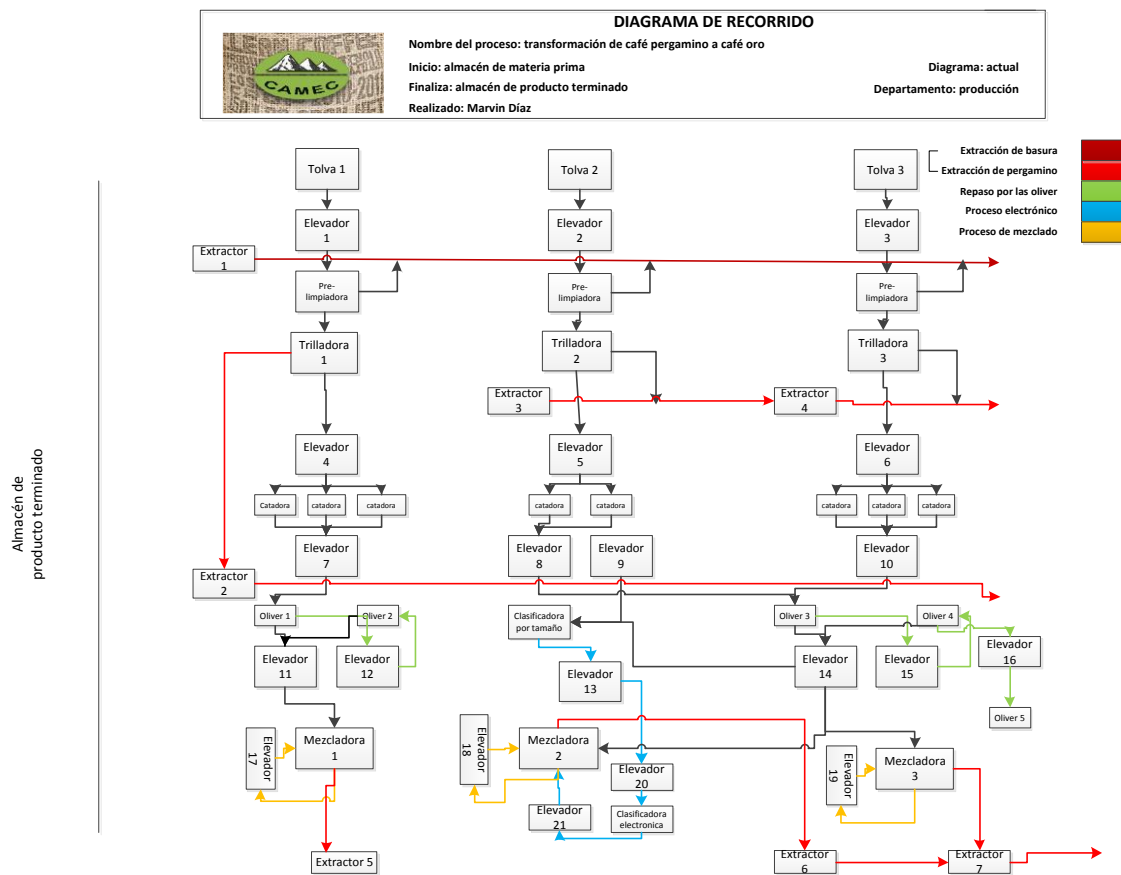
La función de los pesadores y cosedores es pesar cada uno de los sacos que conforman los lotes de café, con la ayuda del uso de una balanza o báscula que mide el peso en libras, cada saco deberá contener 150 libras de café oro.

Luego de ser pesado se procede a coser los sacos con una máquina especializada que se encarga de cerrarles la boca. Al finalizar esta tarea los operarios se encargan de transportar los sacos a la bodega de producto terminado.

## 1.6. Descripción gráfica del proceso

A continuación se muestran el diagrama de recorrido actual que posee la empresa.

Figura 3. Diagrama de recorrido del proceso



Fuente: elaboración propia.



## 2. SITUACIÓN ACTUAL

### 2.1. Estudio de demanda

Es importante conocer la demanda de energía eléctrica, así como el comportamiento que ha tenido en los años anteriores, para pronosticar si esta demanda se mantendrá constante o tendrá la tendencia a incrementarse con el paso del tiempo.

#### 2.1.1. Análisis de comportamiento histórico

Por medio de los registros de la empresa Beneficio Santa Isabel, S.A. se conoció la demanda de energía eléctrica. En la siguiente tabla se puede observar la demanda de la empresa en KW/h de cada mes, a partir de julio de 2013 hasta junio de 2015.

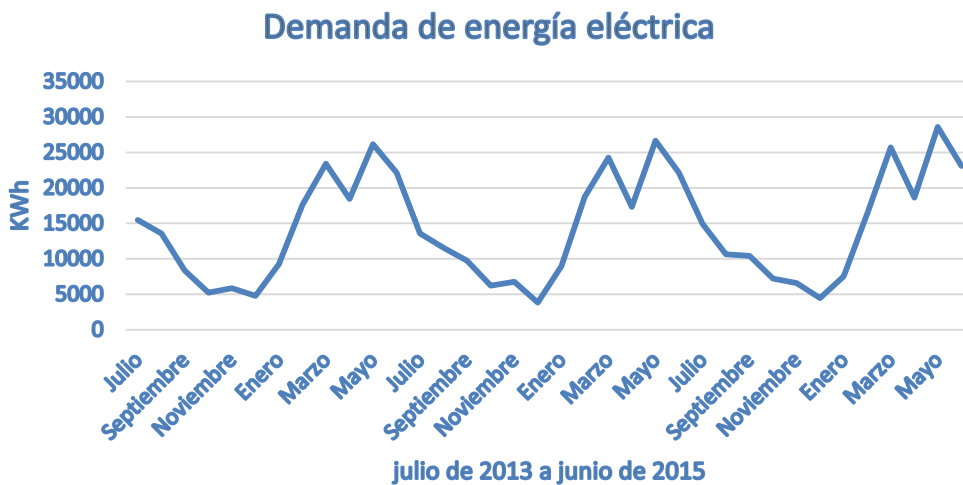
Tabla I. Consumo de KW/h de la empresa

| Mes        | 2013  | 2014  | 2015  |
|------------|-------|-------|-------|
| Julio      | 15457 | 13584 | 14947 |
| Agosto     | 13565 | 11560 | 10640 |
| Septiembre | 8347  | 9760  | 10400 |
| Octubre    | 5217  | 6200  | 7200  |
| Noviembre  | 5840  | 6760  | 6560  |
| Diciembre  | 4800  | 3850  | 4480  |
| Enero      | 9226  | 8960  | 7520  |
| Febrero    | 17653 | 18758 | 16435 |
| Marzo      | 23400 | 24266 | 25720 |
| Abril      | 18440 | 17338 | 18610 |
| Mayo       | 26142 | 26659 | 28580 |
| Junio      | 22160 | 22142 | 23100 |

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente grafica se puede observar la variación de la tendencia de la demanda de energía eléctrica según los meses del año.

Figura 4. **Comportamiento de la demanda mensual de energía eléctrica**



Fuente: elaboración propia.

Al observar la gráfica anterior se puede notar que tiene asociado un comportamiento cíclico, manteniendo similar demanda de energía eléctrica para meses en común de distinto año. La demanda de energía eléctrica tiene dos etapas, la primera se presenta en el primer semestre de cada año, con una elevada demanda de energía, esto ocurre porque da inicio a la cosecha del café, y la segunda etapa ocurre en el segundo semestre del año con una disminución de demanda, ya que la empresa procesa el café que están en las bodegas de la empresa, y al final de cada año la empresa pone en marcha el mantenimiento preventivo precosecha del próximo año.

### 2.1.2. Demanda actual

Para conocer la demanda actual de la empresa Beneficio Santa Isabel S.A. se registró toda la información de la maquinaria que se encuentra en la planta de producción. En las siguientes tablas se muestran el inventario de los motores que poseen los diferentes sistemas que componen las líneas de producción.

Tabla II. **Motores de la línea de producción 1**

| Sistema         | Marca             | RPM      | Potencia (KW) | Voltaje    | Amperio   |
|-----------------|-------------------|----------|---------------|------------|-----------|
| Elevador 1      | AEG               | 1705     | 1.5           | 220YY/440Y | 4.8/2.4   |
| Prelimpiadora 1 | Dornhoff&Co.KG    | 1720     | 2.2           | 380Y/220Δ  | 4.9/8.5   |
| Trilladora 1    | Dornhoff&Co.KG    | 1170     | 33            | 440Δ/220ΔΔ | 58/116    |
| Elevador 4      | Bohm&Wahren       | 1680/100 | 0.55          | 220/380    | 2.4/1.3   |
| Catadora 1      | Dornhoff&Co.KG    | 1710     | 2.2           | 380Y/220Δ  | 4.9/8.5   |
| Catadora 2      | Dornhoff&Co.KG    | 1710     | 2.2           | 380Y/220Δ  | 4.9/8.5   |
| Catadora 3      | Dornhoff&Co.KG    | 1710     | 2.2           | 380Y/220Δ  | 4.9/8.5   |
| Elevador 7      | Weg               | 1720     | 2.2           | 220/380    | 8.86/4.43 |
| Gravimétrica 1  | Newman            | 1750     | 7.5           | 230/460    | 28.8/14.4 |
| Gravimétrica 2  | Marathon Electric | 1745     | 7.5           | 220/440    | 21/10.5   |
| Elevador 11     | Weg               | 1680     | 0.75          | 220/440    | 3.3/1.65  |
| Elevador 12     | Weg               | 1730     | 2.2           | 220/380    | 9.5/5.5   |
| Elevador 17     | Cunz              | 1720     | 2.2           | 220/380    | 8.7/5     |
| Extractor 1     | Weg               | 1755     | 7.5           | 230/460    | 28.8/14.4 |
| Extractor 2     | Weg               | 1740     | 3.75          | 230/460    | 8.20/4.10 |
| Extractor 5     | Newman            | 1725     | 0.75          | 220/380    | 4/2.3     |
| <b>TOTAL</b>    |                   |          | <b>78.2</b>   |            |           |

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. Motores de la líneas de producción 2 y 3

| Sistema            | Marca       | RPM      | Potencia (KW) | Voltaje   | Amperio   |
|--------------------|-------------|----------|---------------|-----------|-----------|
| Elevador 2         | Boff&Wa     | 1720/100 | 1.5           | 220/280   | 3.45/2.0  |
| Elevador 3         | Carl Bock   | 1700/103 | 1.27          | 220Y/440Y | 4.8/2.4   |
| Prelimpiadora 2    | Brush       | 1720     | 2.2           | 220/440   | 8.6/4.3   |
| Prelimpiadora 3    | Weg         | 1720     | 2.2           | 220/440   | 8.6/4.3   |
| Trilladora 2       | Brush       | 1775     | 30            | 220/440   | 100/50    |
| Trilladora 3       | Weg         | 1770     | 30            | 220/380   | 105/60    |
| Elevador 5         | Bohm&Wahren | 1700/200 | 1.8           | 220/380   | 6/3.5     |
| Elevador 6         | Carl Bock   | 1700/103 | 1.27          | 220Δ/380Y | 4.7/2.7   |
| Catadora 4         | Brush       | 1720     | 2.2           | 220/440   | 8.6/4.3   |
| Catadora 5         | Brush       | 1720     | 2.2           | 220/440   | 8.6/4.3   |
| Catadora 6         | Weg         | 1730     | 2.2           | 220/380   | 9.5/5.5   |
| Catadora 7         | Weg         | 1730     | 2.2           | 220/380   | 9.5/5.5   |
| Catadora 8         | Weg         | 1730     | 2.2           | 220/380   | 9.5/5.5   |
| Elevador 8         | Carl Bock   | 1680     | 0.87          | 220/440   | 4.8/2.4   |
| Elevador 9         | Carl Bock   | 1700/103 | 1.27          | 220/380   | 4.7/2.7   |
| Elevador 10        | Carl Bock   | 1700/103 | 1.27          | 220/380   | 4.7/2.7   |
| Clasif. por tamaño | Weg         | 1730     | 2.2           | 220/380   | 9.5/5.5   |
| Gravimétrica 3     | Weg         | 1750     | 11.25         | 230/460   | 28.8/14.4 |
| Gravimétrica 4     | Newman      | 1750     | 7.5           | 230/460   | 28.8/14.4 |
| Gravimétrica 5     | Marathon    | 1745     | 5.63          | 220/440   | 21/10.5   |
| Elevador 13        | Weg         | 1680     | 0.75          | 220/440   | 3.3/1.65  |
| Elevador 14        | Weg         | 1680     | 0.75          | 220/440   | 3.3/1.65  |
| Elevador 15        | Weg         | 1730     | 2.2           | 220/380   | 9.5/5.5   |
| Elevador 16        | Weg         | 1730     | 2.2           | 220/380   | 9.5/5.5   |
| Elevador 18        | Weg         | 1730     | 2.2           | 220/380   | 9.8/5.5   |
| Elevador 19        | Weg         | 1710     | 2.2           | 230/460   | 8.20/4.10 |
| Elevador 20        | Weg         | 1710     | 2.2           | 230/460   | 8.20/4.10 |
| Elevador 21        | Weg         | 1710     | 2.2           | 230/460   | 8.20/4.10 |
| Extractor 3        | Weg         | 1740     | 3.75          | 230/460   | 8.20/4.10 |
| Extractor 4        | Weg         | 1740     | 3.75          | 230/460   | 8.20/4.10 |
| Extractor 6        | Weg         | 1730     | 2.2           | 220/380   | 9.5/5.5   |
| Extractor 7        | Weg         | 1730     | 2.2           | 220/380   | 9.5/5.5   |
| Compresor primario | Olmstead    |          | 22.5          | 230       |           |
| <b>TOTAL</b>       |             |          | <b>158.83</b> |           |           |

Fuente: elaboración propia.

En las tablas anteriores se muestra el consumo de energía eléctrica por cada línea de producción, sin embargo, no es la totalidad de demanda actual que posee la empresa, porque hay que considerar otros equipos que consumen energía como por ejemplo las lámparas, computadoras y soldaduras.

A continuación se muestra la totalidad de demanda de energía eléctrica de la empresa Beneficio Santa Isabel S.A.

Tabla IV. **Resumen de demanda actual de la empresa**

|                           |               |
|---------------------------|---------------|
| Línea de producción 1     | 78,20 KW      |
| Línea de producción 2 & 3 | 158,83 KW     |
| Otros (5%)                | 11,85 KW      |
| <b>TOTAL</b>              | <b>248,88</b> |

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.3. Pronóstico de la demanda futura**

Para pronosticar la demanda de energía eléctrica de la empresa Beneficio Santa Isabel, S.A. se utilizará el método de series estacionales (cíclicas).

Cuando un conjunto de datos sigue un comportamiento repetitivo periódicamente se puede definir como series de datos ordenados en forma cronológica; estos están formados por uno o más componentes de demanda: tendencia, factor estacional, comportamiento cíclico, etc.

#### **2.1.3.1. Pronóstico estadístico**

- Paso 1. Tabulación de datos:

Como primer paso se procede a tabular el juego de datos para establecer cuál es el comportamiento que sigue la curva resultante. Ver tabla 1.

- Paso 2. Análisis primario:

Graficar el conjunto de datos. Ver gráfica 4. Después de analizar la gráfica se concluye que pertenece al tipo cíclico, con picos y valles a lo largo de su trayectoria, manteniendo similares demandas de energía eléctrica para meses en común de distinto año; por lo tanto, este conjunto de datos se puede clasificar como una serie de estacionalidad cíclica.

- Paso 3. Análisis secundario

Se obtiene los valores de  $X_{hor}$ ,  $X_{ver}$  e índice estacional y se colocan en una tabla junto a los valores de demanda reales. Para encontrar el pronóstico de evaluación del período congelado de demanda (meses 33, 34, 35 y 36) se toman en cuenta dos períodos completos de datos.

Tabla V. **Datos tabulados (24 datos)**

| Mes        | Demanda 1 | Demanda 2 | Demanda 3    | $X_{hor}$ (24) | $i$ (24) |
|------------|-----------|-----------|--------------|----------------|----------|
| Julio      | 15457     | 13584     | 14947        | 14520.5        | 1.02     |
| Agosto     | 13565     | 11560     | 10640        | 12562.5        | 0.89     |
| Septiembre | 8347      | 9760      | 10400        | 9053.5         | 0.64     |
| Octubre    | 5217      | 6200      | 7200         | 5708.5         | 0.40     |
| Noviembre  | 5840      | 6760      | 6560         | 6300           | 0.44     |
| Diciembre  | 4800      | 3850      | 4480         | 4325           | 0.31     |
| Enero      | 9226      | 8960      | 7520         | 9093           | 0.64     |
| Febrero    | 17653     | 18758     | 16435        | 18205.5        | 1.28     |
| Marzo      | 23400     | 24266     | <b>25720</b> | 23833          | 1.68     |
| Abril      | 18440     | 17338     | <b>18610</b> | 17889          | 1.26     |
| Mayo       | 26142     | 26659     | <b>28580</b> | 26400.5        | 1.86     |
| Junio      | 22160     | 22142     | <b>23100</b> | 22151          | 1.56     |
|            | $X_{ver}$ | 14170.17  |              |                |          |

Fuente: elaboración propia.

Los pronósticos de evaluación para los meses 33, 34, 35 y 36 se evalúan con el período congelado de demanda del último período completo.

$$P33 = 24266 * 1.68 = 40766$$

$$P34 = 17338 * 1.26 = 21845$$

$$P35 = 26659 * 1.86 = 49585$$

$$P36 = 22142 * 1.56 = 34541$$

Tabla VI. **Pronóstico de evaluación**

| <b>Mes</b> | <b>Demanda</b> | <b>Proyección</b> | <b>Error</b> | <b>I E I</b> |
|------------|----------------|-------------------|--------------|--------------|
| 33         | 25720          | 40766             | -15046       | 15046        |
| 34         | 18610          | 21845             | -3235        | 18281        |
| 35         | 28580          | 49585             | -21005       | 39286        |
| 36         | 23100          | 34541             | -11441       | 50727        |

Fuente: elaboración propia.

- Paso 4. Pronóstico de riesgo

Para estimar la previsión futura, se trabajan los tres períodos completos (36 datos), encontrando nuevos  $X_{hor}$ ,  $X_{ver}$  e índice estacional para la totalidad de los tres períodos.

Tabla VII. **Datos tabulados (36 datos)**

| <b>Mes</b> | <b>Demanda 1</b> | <b>Demanda 2</b> | <b>Demanda 3</b> | <b>X<sub>hor</sub> (36)</b> | <b>i (36)</b> |
|------------|------------------|------------------|------------------|-----------------------------|---------------|
| Julio      | 15457            | 13584            | 14947            | 14662.67                    | 1.03          |
| Agosto     | 13565            | 11560            | 10640            | 11921.67                    | 0.83          |
| Septiembre | 8347             | 9760             | 10400            | 9502.33                     | 0.67          |
| Octubre    | 5217             | 6200             | 7200             | 6205.67                     | 0.43          |
| Noviembre  | 5840             | 6760             | 6560             | 6386.67                     | 0.45          |
| Diciembre  | 4800             | 3850             | 4480             | 4376.67                     | 0.31          |

Continuación de la tabla VII.

|         |       |       |          |          |      |
|---------|-------|-------|----------|----------|------|
| Enero   | 9226  | 8960  | 7520     | 8568.67  | 0.60 |
| Febrero | 17653 | 18758 | 16435    | 17615.33 | 1.23 |
| Marzo   | 23400 | 24266 | 25720    | 24462.00 | 1.71 |
| Abril   | 18440 | 17338 | 18610    | 18129.33 | 1.27 |
| Mayo    | 26142 | 26659 | 28580    | 27127.00 | 1.90 |
| Junio   | 22160 | 22142 | 23100    | 22467.33 | 1.57 |
|         |       | Xver  | 14285.44 |          |      |

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Proyección de demanda de energía eléctrica (KW)**

| Mes        | Cálculo    | Pronóstico |
|------------|------------|------------|
| Julio      | 14947*1.03 | 15342      |
| Agosto     | 10640*0.83 | 8879       |
| Septiembre | 10400*0.67 | 6918       |
| Octubre    | 7200*0.43  | 3128       |
| Noviembre  | 6560*0.45  | 2933       |
| Diciembre  | 4480*0.31  | 1373       |
| Enero      | 7520*0.60  | 4511       |
| Febrero    | 16435*1.23 | 20266      |
| Marzo      | 25720*1.71 | 44042      |
| Abril      | 18610*1.27 | 23618      |
| Mayo       | 28580*1.90 | 54271      |
| Junio      | 23100*1.57 | 36330      |

Fuente: elaboración propia.

## 2.2. Estudio de la oferta

Guatemala está conformada por centrales generadoras (renovables y no renovables) que utilizan distintas fuentes primarias de energía para producir energía eléctrica.



Las centrales generadoras renovables en Guatemala son, en su mayoría, hidroeléctricas, hay también unidades generadoras que emplean biomasa y centrales geotérmicas. Las centrales generadoras no renovables utilizan búnker, carbón y diésel.

La generación renovable presenta una estacionalidad definida en función de la disponibilidad del recurso, en el caso del recurso hídrico la mayor producción de energía hidroeléctrica se tiene en los meses durante los cuales se presenta en Guatemala la estación lluviosa.

La generación con biomasa se tiene en la época de zafra de los ingenios azucareros que inicia en noviembre y termina en abril; la generación geotérmica y la de biomasa se mantienen estables durante todo el año. Es importante mencionar que la generación con biomasa es un buen complemento para la generación hidroeléctrica ya que, cuando el recurso hídrico está mermando, la zafra de los ingenios azucareros inicia.

La proporción de la demanda de energía del Sistema Nacional Interconectado que no se logra cubrir con energía proveniente de recursos renovables, se cubre con recursos no renovables. Debido a la estacionalidad de los recursos renovables durante el año hay períodos durante los cuales se requiere de más energía no renovable.

### **2.2.1. Análisis de comportamiento histórico**

En el siguiente cuadro se muestra el comportamiento de la generación bruta en GW/h para el sistema nacional interconectado.

Tabla IX. **Oferta total de energía por tecnología**

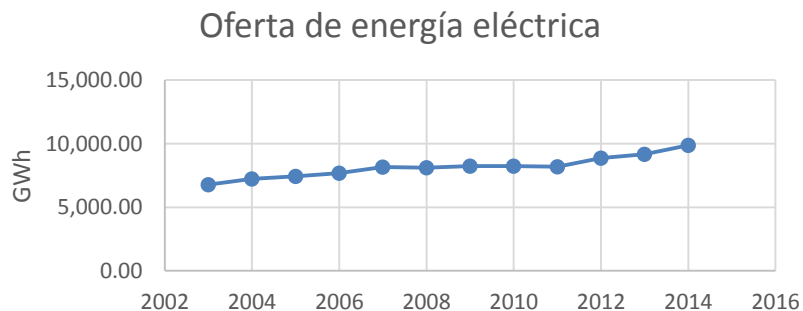
| Tipo de central  | 2003     | 2004     | 2005     | 2006     | 2007     | 2008     |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Hidroeléctricas  | 2,185.60 | 2,564.50 | 2,938.20 | 3,277.80 | 3,006.90 | 3,651.10 |
| Geotérmicas      | 219.7    | 219.1    | 165.8    | 163.2    | 263.1    | 294.2    |
| Turbina de vapor | 1,573.90 | 1,727.30 | 1,794.50 | 1,914.90 | 2,081.70 | 2,004.00 |
| Turbinas de gas  | 44.6     | 5.6      | 16.6     | 8.9      | 17       | 16.6     |
| Motores de C.I   | 2,758.60 | 2,727.70 | 2,521.70 | 2,320.80 | 2,784.00 | 2,149.80 |
| TOTAL            | 6,782.40 | 7,244.20 | 7,436.80 | 7,685.60 | 8,152.70 | 8,115.70 |

Fuente: estadísticas energéticas subsector eléctrico 2011 y 2015. p.4.

| Tipo de central  | 2009     | 2010     | 2011     | 2012     | 2013     | 2014     |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Hidroeléctricas  | 2,918.60 | 3,825.80 | 4,152.30 | 4,356.51 | 4,630.80 | 4,689.18 |
| Geotérmicas      | 386.6    | 271      | 245.7    | 245.63   | 212.3    | 246.6    |
| Turbina de vapor | 1,801.30 | 2,220.00 | 1,925.80 | 2,502.96 | 3,060.80 | 3,693.63 |
| Turbinas de gas  | 35.3     | 3.60     | 30.7     | 8.92     | 4.7      | 3.9      |
| Motores de C.I   | 3,102.50 | 1,912.70 | 1,833.80 | 1,753.46 | 1,260.00 | 1,252.79 |
| TOTAL            | 8,244.30 | 8,233.10 | 8,188.30 | 8,867.48 | 9,168.60 | 9,886.10 |

Fuente: estadísticas energéticas subsector eléctrico 2011 y 2015. p.4.

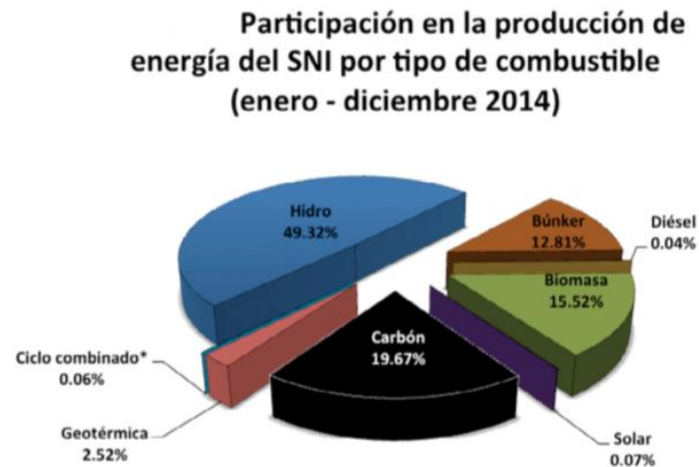
Figura 5. **Comportamiento de la oferta anual de energía eléctrica**



Fuente: elaboración propia.

### 2.2.2. Oferta actual

Figura 6. Producción de energía eléctrica



Fuente: informe estadístico de mercado 2014. p.13.

En la gráfica 6 se indica que durante el año 2014 la generación hidroeléctrica fue la que más aportó al cubrimiento de la demanda con un 49,32 % de la energía, seguida por la generación de las centrales que utiliza carbón con un 19,67 %. Es importante observar que la generación de biomasa fue mayor a la generación con búnker con un 15,52 % contra un 12,81 %, respectivamente.

Otro dato importante es que la matriz de generación de 2014 fue en su mayoría, cubierta con fuentes renovables de generación con un 67,43 %, mientras que la energía cubierta con fuentes no renovables fue de 32,57 %.

### 2.2.3. Pronóstico de la oferta futura

El objetivo de la planificación de la expansión de la generación a largo plazo es establecer las necesidades de capacidad basadas en análisis del comportamiento del SIN, de acuerdo con la conducta de diversas variables como demanda de energía, recursos energéticos, interconexiones eléctricas, etc.

Dichas necesidades buscan satisfacer los requerimientos de demanda de energía y potencia considerando, además, criterios económicos, sociales, tecnológicos y ambientales.

#### 2.2.3.1. Pronóstico estadístico

Se calculan los valores de a, b y r para cada curva estadística a través del método de regresión lineal (se ingresan 12 datos). Los resultados son los siguientes:

Tabla X. Ecuaciones normales de regresión lineal

| Ecuación    | Forma general     | a        | B        | r      |
|-------------|-------------------|----------|----------|--------|
| Lineal      | $Y = a + bx$      | 6 704,42 | 225,03   | 0,9516 |
| Logarítmica | $Y = a + b \ln x$ | 6 472,17 | 1 017,61 | 0,9021 |
| Exponencial | $Y = a * B^x$     | 6 797,64 | 1.0278   | 0,9569 |
| Potencial   | $Y = a * x^b$     | 6 580,42 | 0,1267   | 0,9252 |

Fuente: elaboración propia.

La ecuación que se ajusta más a la serie de datos es la forma exponencial con ella se procede a calcular el pronóstico de riesgo.

$$Y = 6797.64 * (1.0278)^x \quad r = 0.9569$$

Tabla XI. **Proyección de la oferta**

| <b>Año</b> | <b>Pronóstico de riesgo GWh</b> |
|------------|---------------------------------|
| 2015       | 9 708,9                         |
| 2016       | 9 978,8                         |
| 2017       | 10 256,22                       |
| 2018       | 10 541,34                       |
| 2019       | 10 834,39                       |
| 2020       | 11 135,58                       |

Fuente: elaboración propia.

#### **2.2.4. Costo por KW/h consumido**

El sector no regulado abarca:

- Tarifas establecidas por el distribuidor, por ejemplo, industrias pequeñas.
- Usuarios con potencia mayor a 100 KW, por ejemplo, industrias mediana y grande.

El sector no regulado no goza de la tarifa social, cobrando el valor del kWh al precio establecido por el pliego tarifario que actualmente está, según la página oficial de Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Los precios para el sector no regulado para los meses de mayo a julio de 2015 son:

EEGSA Q. 1,1803 por kWh.

DEORSA Q. 1,7301 por kWh

DEOCSA Q. 1,6597 por kWh

### **Ajuste de la factura con el pliego tarifario**

Adicionalmente al consumo de kWh y al precio por kWh, se agregan tarifas del pliego tarifario como lo son:

#### **Generación y transporte**

- Valor agregado de distribución (VAD)
- Ajustes de precio trimestral o solidaridad

#### **Distribución**

- Cargo fijo por cliente
- Cargo unitario por energía
- Cargo unitario por potencia contratada
- Cargo unitario por potencia máxima

En la siguiente tabla se detallan los cargos que presenta actualmente la empresa Beneficio Santa Isabel, S.A.

Tabla XII. **Detalles de cargos**

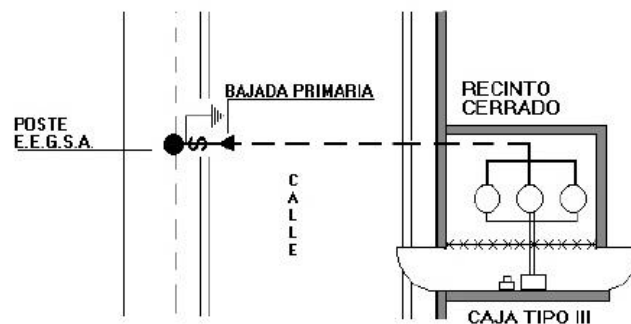
|                               | <b>Precios</b>           | <b>Consumo</b> |
|-------------------------------|--------------------------|----------------|
| Cargo fijo por cliente        | 794,655815 Q/usuario-mes |                |
| Cargo por energía             | 0,741023 Q/KWh           |                |
| Cargo por potencia máxima     | 27,226668 Q/KW           | 224 KW         |
| Cargo por potencia contratada | 23,062052 Q/KW           | 224 KW         |
| Tasa municipal                | 14 %                     |                |

Fuente: elaboración propia.

### 2.2.5. **Parámetros de la línea de alimentación**

El Beneficio Santa Isabel tiene contratado el servicio de media tensión de grandes usuarios, que suministra cargas trifásicas mayores de 225 KVA y menores a 1000 KVA. La alimentación en media tensión, desde el punto de entrega de energía al centro de transformación, propiedad de la empresa, es subterránea, tal y como se muestra en la siguiente figura.

Figura 7. **Suministro en media tensión**



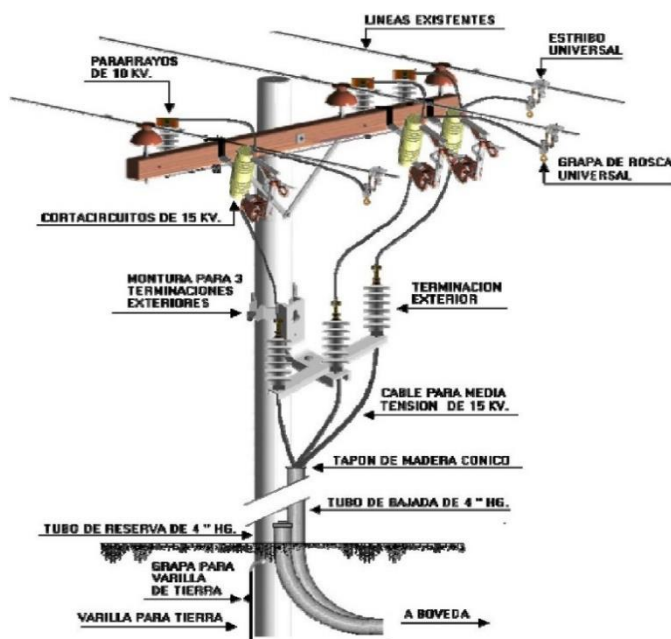
Fuente: norma Empresa Eléctrica de Guatemala (acometidas).

### 2.2.5.1. Cable

Los cables juegan una parte primordial dentro de la red eléctrica, por ello deben ser confiables y de duración prolongada debido a los altos costos de reemplazo, así como al impacto que pueden tener en la empresa cuando existe una falla. Conductores para la red primaria:

- Cable de aluminio No. 1/0 AWG, tipo UD subterráneo; con cubierta protectora exterior de PVC (JACKETED), aislamiento XLPE al 100 % con un espesor 175 milímetros, para 15 KV.
- Conductor de fase 1/0 AWG de 19 hilos tipo AAC, cada hilo, cableado normal, diámetro del conductor 368 milímetros.
- Conductor neutral concéntrico de cobre de 16 hilos No. 14 AWG.

Figura 8. **Acometida tres fases en media tensión a centro de transformación**



Fuente: norma Empresa Eléctrica de Guatemala (acometidas).



### **2.2.5.2. Voltaje**

El voltaje nominal es el valor asignado a la magnitud del voltaje de un sistema con el fin de clasificarlo. El voltaje medido podrá variar del valor nominal en un rango que permita la operación satisfactoria del equipo.

El voltaje nominal primario en media tensión proporcionado por EEGSA es de 7620v/ 13200 Y estrella. Voltaje nominal secundario proporcionado por EEGSA 240/480v delta, 4 alambres.

### **2.2.5.3. Corriente**

La Empresa Eléctrica de Guatemala transmite la energía a alta tensión y menos corriente para que existan menores pérdidas en el conducto, ya que la resistencia varía con respecto a la longitud, y como estas líneas son demasiado largas, las pérdidas de electricidad por calentamiento serían muy grandes.

La corriente transmitida en los cables de alta tensión es de 15 a 20 amperios. Para luego ser transformada a 300 amperios, que es la corriente utilizada en la empresa.

### **2.2.5.4. Potencia**

La potencia es la capacidad de consumir o producir energía eléctrica. Esta capacidad de consumir o producir energía eléctrica requiere que, el sistema de transmisión o de distribución al que el consumidor o productor se encuentre conectado, pueda transmitir la energía que se está consumiendo o produciendo.

Los grandes usuarios GU son participantes del mercado mayorista en el que caso que su demanda de potencia exceda el límite estipulado en el Reglamento de la Ley General de Electricidad.

El GU tiene la característica que el precio de la electricidad que consume no está sujeto a regulación, es decir, no es fijado por la CNEE, y que las condiciones de su suministro son pactadas libremente con el suministrador.

Actualmente, la empresa Beneficio Santa Isabel S.A tiene contratada una potencia de 224 KW.

## **2.3. Distribución eléctrica**

### **2.3.1. Tipo de cable**

Los conductores transportan corriente eléctrica, la sección transversal o calibre del mismo va a ser función de ella, por lo tanto, la capacidad de corriente o amperaje del conductor dependerán directamente de su calibre. Para una corriente determinada, existe una sección o calibre mínimo de conductor aceptado.

Secciones mayores a este mínimo producirán menos pérdidas y, en consecuencia, menores costos de operación. El tipo cable que se utiliza para transportar la corriente después de que haya sido transformada es THW 4/0 AWG.

En la siguiente tabla se muestra las características del cable.

Tabla XIII. **Características del conductor**

| <b>Calibre<br/>AWG</b> | <b>Sección<br/>mm<sup>2</sup></b> | <b>No. de hilos<br/>por diámetro<br/>en mm</b> | <b>Diámetro<br/>exterior<br/>mm</b> | <b>Peso total<br/>Kg/Km</b> | <b>Peso<br/>total<br/>Kg/Km</b> | <b>Capacidad<br/>de corriente<br/>Amp</b> |
|------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---|
| 4/0                    | 107.2                             | 19 x 2,68                                      | 19 x 2,68                           | 972                         | 3395                            | 300                                       |

Fuente: DISENSA, S.A.

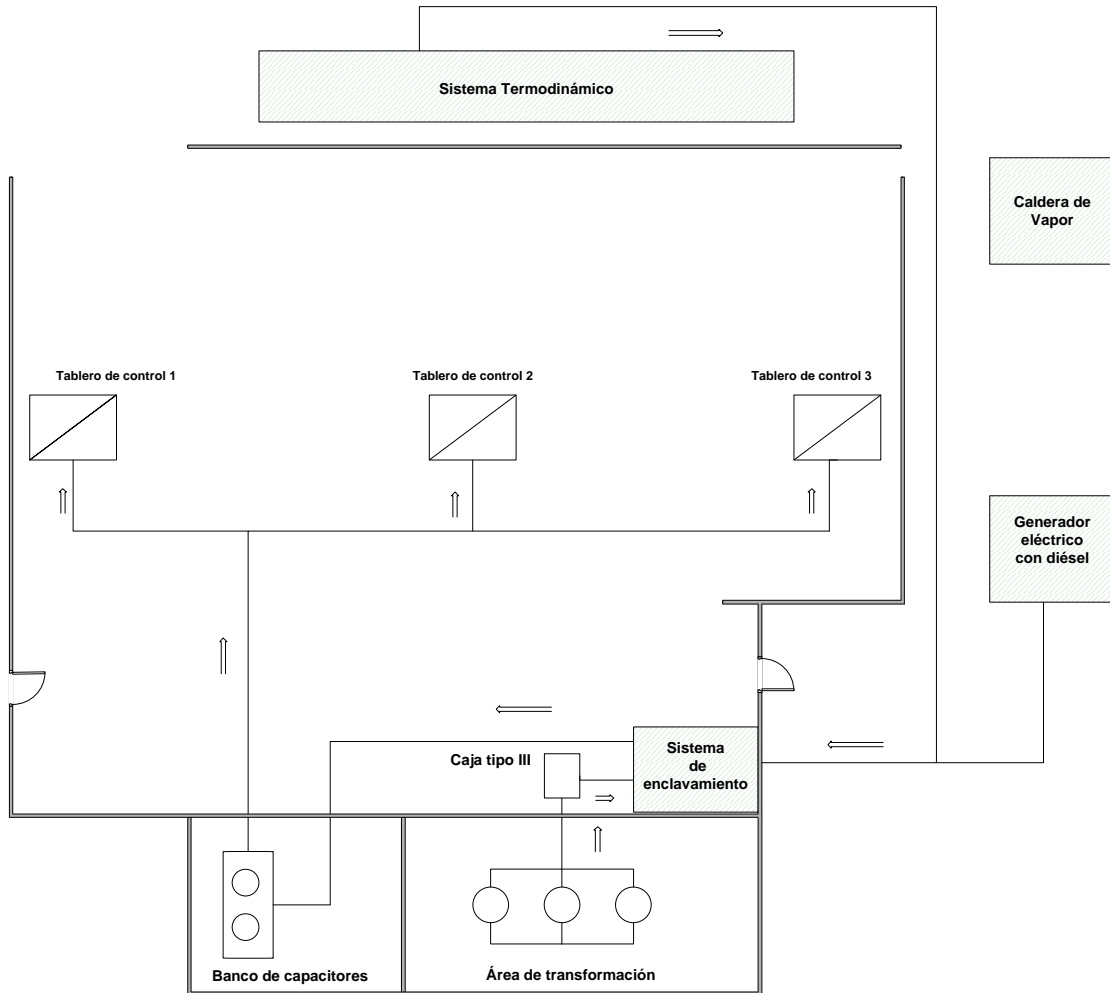
### **2.3.2. Tablero principal**

Los tableros de control poseen contactares para hacer funcionar los motores de la maquinaria, su función es proteger contra sobrecargas y marcha en dos fases de motores trifásicos.

### **2.3.3. Planos de distribución**

La alimentación de energía eléctrica en media tensión se realiza de manera subterránea desde el punto de entrega, hacia el área de transformación, donde se convierte en energía útil para la empresa, luego es transportada a caja tipo III donde se registra el voltaje y amperios, después de eso pasa al sistema de enclavamiento donde es re direccionada hacia el banco de capacitores donde corrige el factor de potencia y, finalmente, es enviada a los tableros de control donde se distribuye a la maquinaria.

Figura 9. **Distribución de energía eléctrica**



Fuente: elaboración propia.

### **3. ESTUDIO TÉCNICO-INGENIERÍA**

#### **3.1. Características de la tecnología**

##### **3.1.1. Generador eléctrico**

Los generadores de corriente alterna son máquinas que transforman energía mecánica, que reciben por medio del rotor, en energía eléctrica en forma de corriente alterna. La mayoría de alternadores son máquinas de corriente alterna síncrona, que son las que giran a la velocidad de sincronismo, que está relacionada con el número de polos que tiene la máquina y la frecuencia de la fuerza electromotriz. Esta relación hace que el motor gire a la misma velocidad que le impone el estator a través del campo magnético.

Su estructura está formada por dos partes principales:

**Estator:** es la parte fija del generador, está formado por una carcasa metálica que le sirve como soporte. En su interior se encuentra el núcleo del inducido, con forma de corona, donde se alojan los conductores del enrollamiento inducido.

**Rotor:** es la parte móvil que gira dentro del estator, contiene el sistema inductor y los anillos de rozamiento, mediante los cuales se alimenta el sistema inductor.

El rotor de polos lisos es el más utilizado en la generación de energía eléctrica acoplado a turbinas de vapor y gas, que pueden girar a 1 000, 1 500 o 3 000 r.p.m.

### 3.1.2. Turbina

Una turbina de vapor es una turbomáquina motora, que convierte la energía del vapor en energía mecánica a través de un intercambiador de cantidad de movimiento entre el fluido de trabajo y el rodete, que es el órgano principal de la turbina.

Las turbinas de vapor están presentes en diversos ciclos de potencia que utilizan un fluido que pueda cambiar fase, el más importante es el ciclo de Rankine el cual genera vapor en una caldera, en la cual sale en unas condiciones de presión y temperatura elevadas.

En la turbina se transforma la energía interna del vapor en energía mecánica que, típicamente es aprovechada por un generador para producir energía eléctrica.

La turbina por utilizar es la SST-040 que es proporcionada por la empresa Siemens, es una turbina de presión constante de una etapa (turbina de impulso). Esta turbina sirve de accionamiento del generador en la gama de potencia de 75 a 300 kW. Se emplea en pequeñas centrales de cogeneración de calor y electricidad y de biomasa.

Tabla XIV. **Datos técnicos de la turbina SST-040**

|                                     |                               |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| Potencia de salida                  | 75 a 300 kW                   |
| La presión del vapor de entrada     | De 2 a 40 bar                 |
| La temperatura del vapor de entrada | Vapor saturado seco a 400 ° C |
| La presión de escape                | 0,1 bar                       |
| Peso                                | 4.500 kg                      |

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.3. Caldera

La caldera de humos o pirotubular, es aquella que necesita transferencia térmica para que se pueda extraer del combustible, la mayor parte del calor. El flujo de los gases de la combustión se realiza por el interior de los tubos, los cuales salen del hogar, pasan previamente por el interior de un haz de tubos que se encuentra en el cuerpo de la caldera bañado por el agua con el fin de aumentar la superficie de calentamiento de la misma, antes de ser expulsada por la chimenea.

La caldera CSPM, proporcionada por la empresa Attsu es un generador de vapor pirotubular de hogar de combustión para biomasa. Es de tres pasos de humo con un recorrido en el hogar. El aislamiento térmico se realiza mediante fibra cerámica y manta de fibra de vidrio, con protección en chapa de aluminio/ acero inoxidable.

Tiene una amplia puerta de acceso al hogar para inspección y limpieza. Esta puerta permite el acceso del personal de mantenimiento de una forma fácil y cómoda al hogar de combustión y facilita de una forma exponencial las tareas de mantenimiento y limpieza.

Tabla XV. **Datos técnicos de la caldera CSPM**

|                      |            |
|----------------------|------------|
| Producción de vapor  | 1,151 Kg/h |
| Potencia             | 750 KW     |
| Rendimiento térmico  | 85%        |
| Presión de vapor     | 10 bar     |
| temperatura de vapor | 350 ° C    |

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.3.1. Combustible necesario para la caldera

La caldera generará 1,067 Kg/h de vapor a una presión de 10 bares y 350 °C de temperatura. La entalpía a estas condiciones es de 3 158,2 KJ/Kg según la tabla A-6 del libro de Cengel. (Ver anexo 1.)

La energía total por producir:

$$1067\text{Kg/h} * 3158.2\text{KJ/Kg} = 3369799.4\text{KJ/h}$$

La caldera tiene una eficiencia del 85 %, por lo que solamente el 85 % de la energía calorífica por cada kilogramo de cascarilla de café podrá ser aprovechada. El poder calorífico de la cascarilla de café es de 18 700 KJ/Kg.

$$18700\text{KJ/Kg} * 85\% = 15895\text{KJ/h}$$

$$\text{Consumo de cascarilla de café: } \frac{\text{Energía total } \left(\frac{\text{KJ}}{\text{h}}\right)}{\text{Energía calorífica (KJ/Kg)}}$$

$$\text{Consumo de cascarilla de café: } \frac{3369799.4\left(\frac{\text{KJ}}{\text{h}}\right)}{15895\left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)} = 212\text{Kg/h}$$

Como se puede observar, la caldera consumirá 212 kilogramos de cascarilla de café por hora. Es importante mencionar que la producción de cascarilla de café, en las tres líneas de producción que posee la empresa es de 818 Kg/h.



### **3.1.4. Condensador**

Un condensador es, básicamente, un intercambiador de calor, cuya función es transferir calor de un fluido (vapor) a otro fluido. Entre las principales razones por las que se utilizan los intercambiadores de calor se encuentran las siguientes:

- Calentar un fluido frío mediante un fluido con mayor temperatura.
- Reducir la temperatura de un fluido mediante un fluido con menor temperatura.
- Condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío.

Para el propósito del proyecto se utilizará un intercambiador de carcasa y tubos, este tipo de intercambiador consiste en un conjunto de tubos que se encuentran alojados en un contenedor llamado carcasa. El fluido dentro de los tubos se le denomina flujo interno y a aquel que se encuentra dentro de la carcasa se le llama fluido externo. En un sistema donde los dos fluidos presentan una diferencia considerable entre sus presiones, el fluido con mayor presión se hace circular a través de los tubos, y el fluido con menor presión circula del lado de la carcasa. Esto debido a los costos en materiales, los tubos del intercambiador se pueden fabricar para soportar presiones más altas

### **3.1.5. Bomba**

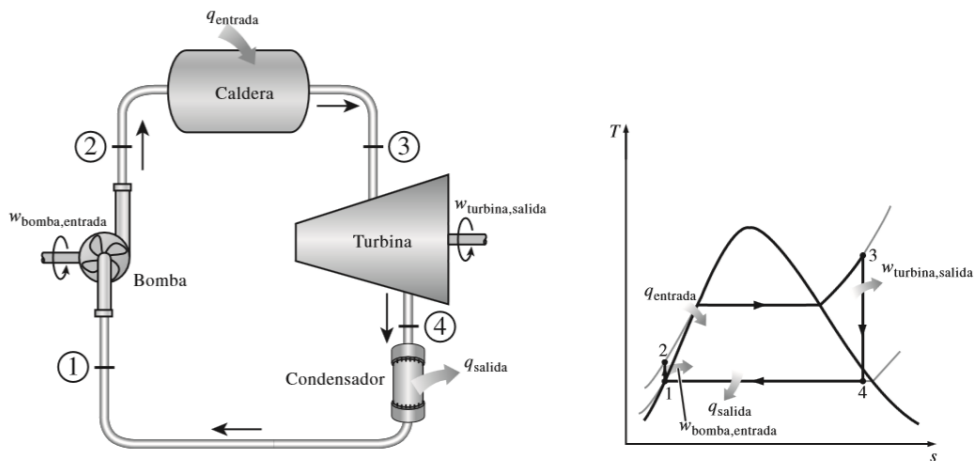
Un equipo de bombeo es un transformador de energía mecánica y la convierte en energía, que un fluido adquiere en forma de presión, de posición y de velocidad. Las bombas son de gran importancia en el trasiego de fluidos, debido a su capacidad de producir vacío, con lo cual se puede empujar el fluido hacia donde se va a utilizar.

### 3.2. Ciclo Rankine ideal para los ciclos de potencia de vapor

El ciclo Rankine, es el que utilizan las centrales eléctricas de vapor ideal. Este ciclo está compuesto de los siguientes procesos.

- 1-2. Compresión isentrópica en la bomba.
- 2-3. Adición de calor a presión constante en la caldera.
- 3-4. Expansión isentrópica en la turbina.
- 4-1. Rechazo de calor a presión constante en el condensador.

Figura 10. **Ciclo Rankine ideal simple**



Fuente: CENGEL, Yunus A; BOLES, Michael A. *Termodinámica*. p.588.

El agua entra a la bomba en el estado 1 como líquido saturado y se condensa isentrópicamente hasta la presión de operación de la caldera.

La temperatura del agua aumenta un poco durante este proceso de compresión isentrópica debido a una ligera disminución en el volumen específico del agua. El agua entra a la caldera como líquido comprimido en el estado 2 y sale como vapor sobrecalentado en el estado 3.

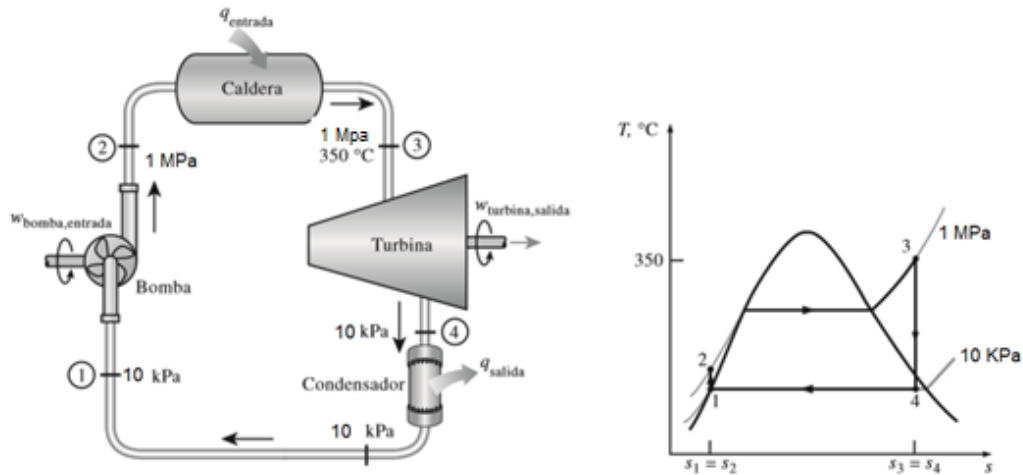
La caldera es, básicamente, un gran intercambiador de calor donde el calor que se origina en los gases de combustión, se transfiere al agua esencialmente a presión constante. El vapor sobrecalentado en el estado 3 entra a la turbina donde se expande isentrópicamente y produce trabajo al hacer girar el eje conectado a un generador eléctrico.

La presión y la temperatura del vapor disminuyen durante este proceso hasta los valores en el estado 4, donde el vapor entra al condensador. En este estado el vapor es, por lo general, un vapor húmedo con una alta calidad. El vapor se condensa a presión constante en el condensador, el cual es un gran intercambiador de calor, rechazando el calor hacia un medio de enfriamiento. El vapor sale del condensador como líquido saturado y entra a la bomba, completando el ciclo.

### **3.2.1. Análisis de energía del ciclo Rankine ideal**

En esta sección se desarrollará el análisis del ciclo ideal de Rankine, para conocer el trabajo realizado por la turbina y la bomba, el calor que ingresa en la caldera y el calor cedido en el condensador, también se obtendrá la eficiencia del ciclo y el flujo másico que se necesita para que la turbina desarrolle la potencia deseada.

Figura 11. **Ciclo de Rankine por implementar**



Fuente: elaboración propia.

Lo primero que se debe de obtener son las entalpías de cada estado

Estado 3 (turbina)

$$p_3 = 1,000 \text{ Kpa}$$

$$t_3 = 350 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{sat} = 179.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Condición vapor sobrecalentado

De la tabla A-6 del libro de Cengel con  $P_3$  y  $T_3$  se obtiene:

$$h_3 = 3,158.2 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_3 = 7.3029 \text{ KJ/Kg} * K$$

Estado 4 (condensador)

$$p_4 = 10Kpa$$

$$s_4 = s_3 = 7.13029KJ/Kg * K$$

Para obtener la calidad del vapor en la salida de la turbina se utiliza la siguiente fórmula:

$$s_4 = s_f + xs_{fg}$$

De la tabla A-5 del libro de Cengel con  $p_4$  se obtiene: (Ver anexo 2.)

$$s_f = 0.6492KJ/Kg * K$$

$$s_{fg} = 7.4996KJ/Kg * K$$

Entonces se despeja X:

$$x = \frac{s_4 - s_f}{s_{fg}}$$

$$x = \frac{7.3029 - 0.6492}{7.4996} = 0.8872$$

Ya que se obtuvo la calidad se dispone a calcular  $h_4$ :

$$h_4 = h_f + xh_{fg}$$

De la tabla A-5 del libro de Cengel con  $p_4$  se obtiene:

$$h_f = 191.81KJ/Kg$$

$$h_{fg} = 2392.1KJ/Kg$$

$$h_4 = 191.81 + (0.8872)(2392.1)$$

$$h_4 = 2314.0811 \text{KJ/Kg}$$

Estado 1 (bomba)

$$p_1 = p_4 = 10 \text{Kpa}$$

Condición líquido saturado

De la tabla A-5 del libro de Cengel con  $P_1$  se obtiene:

$$h_1 = h_{f(p_1)}$$

$$h_1 = 191.81 \text{KJ/Kg}$$

$$v_{f1(p_1)} = 0.001010 \text{m}^3/\text{Kg}$$

Estado 2 (caldera)

$$p_2 = p_4 = 1,000 \text{Kpa}$$

$$h_2 = h_1 + wb$$

Para calcular el trabajo de la bomba se utiliza la siguiente fórmula:

$$wb = v_{f1}(p_2 - p_1)$$

$$wb = 0.001010 * (1000 - 10)$$

$$wb = 0.9999 \text{KJ/Kg}$$

Ya obtenido el trabajo de la bomba, se procede a calcular  $h_2$ :

$$h_2 = 191.81 + 0.9999$$

$$h_2 = 192.8099 \text{KJ/Kg}$$

Como ya se obtuvo la entalpía de cada uno de los estados, se procede a calcular el calor que ingresa en la caldera y el que es cedido por el condensador.

$$q_{ing} = h_3 - h_2$$

$$q_{ing} = 3,158.2 - 192.8099$$

$$q_{ing} = 2,965.3901 \text{KJ/Kg}$$

$$q_{sal} = h_4 - h_1$$

$$q_{sal} = 2,314.0811 - 191.81$$

$$q_{sal} = 2,122.2711 \text{KJ/Kg}$$

Para conocer el trabajo desarrollado por la turbina se utiliza la siguiente fórmula:

$$wt = h_3 - h_4$$

$$wt = 3,158.2 - 2314.0811$$

$$wt = 844.1189 \text{KJ/Kg}$$

Se debe conocer cuál es la eficiencia del ciclo, para ello hay dos fórmulas para obtenerla:

$$\eta = 1 - \frac{q_{sal}}{q_{ing}}$$

$$\eta = 1 - \frac{2,122.2711}{2,965.3901}$$

$$\eta = 0.2843 = 28.43\%$$

$$\eta = \frac{wt - wb}{q_{ing}}$$

$$\eta = \frac{844.1189 - 0.9999}{2,965.3901}$$

$$\eta = 0.2843 = 28.43\%$$

Como se puede observar los dos métodos dan la misma eficiencia, ya que si no fuese así habría un error en los cálculos.

Otro dato importante que se debe conocer es el flujo másico, ya que la potencia por desarrollar de parte de la turbina depende de este dato. La fórmula por utilizar es la siguiente:

$$m = \frac{W_{potencia}}{w_t - w_b}$$
$$m = \frac{250 \text{ kW}}{844.1189 - 0.9999}$$
$$m = 0.2965 \text{ kg/s} = 1067.4649 \text{ kg/h}$$

Para que la turbina pueda desarrollar 250 kW de potencia, se debe producir 1 067,4649 kg de vapor por hora.

### **3.3. Diseño de la red de vapor**

#### **3.3.1. Dimensionamiento de la tubería**

Por lo general, cuando se selecciona los tamaños de la tubería, las personas se guían por el tamaño de las conexiones del equipo a las que van a conectar. Si se dimensiona de esta forma es posible que no se pueda alcanzar el caudal volumétrico deseado.

También hay que tomar en cuenta dos efectos cuando se dimensiona de esta forma, el primero es cuando se sobredimensiona la tubería, esto provoca que:



- Las tuberías sean más costosas de lo necesario.
- Se forme un mayor volumen de condensado a causa de las mayores pérdidas de calor.
- La calidad del vapor y posterior entrega de calor será pobre, debido al mayor volumen de condensado que se forma.
- Los costes de instalación será mayores.

La segunda es cuando se subdimensiona la tubería esto provocará que:

- La velocidad del vapor y la caída de presión serán mayores, generado una presión inferior a la que se requiere en el punto de utilización.
- El volumen de vapor será insuficiente en el punto de utilización.
- Habrá un mayor riesgo de erosión, golpe de ariete y ruido, a causa del aumento de la velocidad.

La tubería más conocida es probablemente la que se deriva del *America Petroleum Institute (API)*, donde las tuberías se clasifican según el espesor de pared de tubería, llamado *Schedule*.

Estos *Schedule* están relacionados con la presión nominal de la tubería, y son un total de once, comenzando por 5 y seguido de 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140 hasta el *Schedule 160*.

El *Schedule 40* es el más ligero de los especificados. Solo los *Schedule 40* y 80 cubren la gama completa de medidas nominales desde 15 mm hasta 60 mm y son los *Schedule* utilizados más comúnmente para instalaciones de tubería de vapor.

Tabla XVI. **Medida de tuberías para distintos Schedule**

| Tamaño de tubería (mm) | 15           | 20   | 25   | 32   | 40   | 50   | 65   | 80   | 100  | 125   | 150   |       |
|------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Diámetro (mm)          | Schedule 40  | 15.8 | 21.0 | 26.6 | 35.1 | 40.9 | 52.5 | 62.7 | 77.9 | 102.3 | 128.2 | 154.1 |
|                        | Schedule 80  | 13.8 | 18.9 | 24.3 | 32.5 | 38.1 | 49.2 | 59.0 | 73.7 | 97.2  | 122.3 | 146.4 |
|                        | Schedule 160 | 11.7 | 15.6 | 20.7 | 29.5 | 34.0 | 42.8 | 53.9 | 66.6 | 87.3  | 109.5 | 131.8 |
|                        | DIN 2448     | 17.3 | 22.3 | 28.5 | 37.2 | 43.1 | 60.3 | 70.3 | 82.5 | 107.1 | 131.7 | 159.3 |

Fuente: Spirax Sarco.

### 3.3.1.1. Dimensionamiento de tubería según la velocidad de vapor

Si se dimensiona la tubería en función de la velocidad, entonces los cálculos se basan en el volumen de vapor que se transporta con relación a la sección de la tubería. A continuación se desarrolla el procedimiento para determinar el diámetro óptimo para la tubería.

Tabla XVII. **Datos necesarios para dimensionar la tubería**

| Dimensión           | Símbolo    | Cantidad  | Unidad            |
|---------------------|------------|-----------|-------------------|
| Temperatura         | T          | 350       | °C                |
| Presión             | P          | 10        | bar               |
| Caudal másico       | Qm         | 1067.46   | Kg/h              |
| Longitud de tubería | L          | 16        | m                 |
| Rugosidad           | $\epsilon$ | 0.05      | Mm                |
| Densidad            | $\rho$     | 3.906227  | Kg/m <sup>3</sup> |
| Viscosidad dinámica | $\mu$      | 0.0223041 | cp                |

Fuente: elaboración propia.

Primero se procede a obtener la viscosidad cinética, que está dada por la ecuación:

$$\mathcal{G} = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0.0223041}{3.90627} = 5.7098 \times 10^{-3} \text{cst}$$

El caudal volumétrico se obtiene cuando se divide el caudal másico por la densidad.

$$Q = \frac{Q_m}{\rho} = \frac{1067.4649}{3.90627} = 273.27 \text{m}^3/\text{h} = 0.0759 \text{m}^3/\text{s}$$

Por medio de la ecuación de la velocidad se puede determinar el diámetro de la tubería, sin embargo, se tiene dos incógnitas en la misma ecuación. Se puede utilizar 15m/s como la velocidad de inicio, ya que esta velocidad donde se puede tener menos efectos como golpe de ariete o ruidos, así obtener el diámetro para las iteraciones.

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$D = \sqrt[2]{\frac{4Q}{\pi v}} = \sqrt[2]{\frac{4(0.0759)}{\pi(15)}} = 0.08027 \text{m} = 80.27 \text{mm}$$

A continuación se procede a determinar el tipo de flujo. Sabiendo que:

$R < 2,000$  es flujo laminar, y si

$R > 2,000$  es flujo turbulento.

Para ello se utiliza la ecuación de Reynolds.

$$R = \frac{4 \cdot 10^6}{3.6} * \frac{Q}{\pi D \mathcal{G}}$$

$$R = \frac{4 \cdot 10^6}{3.6} * \frac{273.27}{\pi(80)(5.7098 \times 10^{-3})} = 2.1087 \times 10^5$$

Ya que el resultado dio un flujo turbulento, se procede a calcular el factor de fricción, con la ecuación de *White-Colebrook*.

$$\frac{1}{\sqrt[4]{f}} = -2 \log\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{R\sqrt[4]{f_i}}\right)$$

Utilizando  $f_i = 0.019$  obtenido en el diagrama de *Moody*. (Ver anexo 3.)

Se procede a realizar un proceso iterativo hasta que  $f$  se estabilice. El producto final del proceso es  $f = 0.019864$ , este proceso es más exacto que utilizar el diagrama de *Moody*.

A continuación se determina el factor de pérdida de carga ( $h_f$ ) con la ayuda de la ecuación *Darcy - Weisbach*.

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} = f * \frac{L}{D^5} * \frac{8Q^2}{\pi^2 g}$$

$$h_f = 0.019864 * \frac{16}{(0.08027)^5} * \frac{8(0.07590)^2}{\pi^2(9.81)} = 45.3969mcv$$

Para convertir metros de columna de vapor (mcv) a bar, se utiliza la ley de los gases.

$$p = \rho * h * g$$

$$45.3969mcv = 0.017397bar$$

Ahora se introduce el factor de carga "k" que está dada por la ecuación:

$$k = h_f * \frac{\pi^2 * g}{8 * L * Q^2}$$

Si se despeja  $f$  de la ecuación *Darcy – Weisbach* se obtiene:

$$f = h_f * \frac{\pi^2 * g}{8 * L * Q^2} * D^5$$

Si sustituye  $k$ , se obtiene:  $f = k * D^5$

Ahora se calcula el factor  $k$ .

$$k = h_f * \frac{\pi^2 * g}{8 * L * Q^2} = 45.3969 * \frac{\pi^2 * 9.81 * (3600)^2}{8 * 16 * (273.27)^2} = 5959.4645 m^{-5}$$

Al sustituir  $k$  en la ecuación anterior se obtiene:

$$f = 5959.4645 m^{-5} * D^5$$

Finalmente se sustituye  $f$  en la ecuación *White-Colebrook*

$$\frac{1}{\sqrt[2]{5959.4645 * D^5}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon / D_1}{3.7} + \frac{2.51}{\frac{4Q}{\pi D_i^3} \sqrt[2]{5959.4645 * D_1^5}} \right)$$

Donde se despeja  $D$ , y utilizando  $D_i = 80.27$  mm para poder comenzar el proceso iterativo hasta que  $D$  se estabilice.

Cuya solución obtenida por iteraciones es  $D = 64.258$  mm, pero este diámetro no es comercial, así que se utiliza el diámetro más próximo en la siguiente tabla.

Tabla XVIII. **Diámetros comerciales**

| Tubo de acero          |                         |                            |      |                           |
|------------------------|-------------------------|----------------------------|------|---------------------------|
| Diámetro nominal (plg) | Diámetro exterior (plg) | Diámetro interior (plg/mm) |      | Schedule 40 espesor (plg) |
| 1/8                    | 0.405                   | 0.269                      | 6.83 | 0.068                     |
| 1/4                    | 0.540                   | 0.364                      | 9.24 | 0.088                     |
| 3/8                    | 0.675                   | 0.493                      | 12.5 | 0.091                     |
| 1/2                    | 0.840                   | 0.622                      | 15.8 | 0.109                     |
| 3/4                    | 1.050                   | 0.824                      | 20.9 | 0.113                     |
| 1                      | 1.315                   | 1.049                      | 26.6 | 0.133                     |
| 1 1/4                  | 1.660                   | 1.38                       | 35.0 | 0.140                     |
| 1 1/2                  | 1.900                   | 1.61                       | 40.9 | 0.145                     |
| 2                      | 2.375                   | 2.067                      | 52.5 | 0.154                     |
| 2 1/2                  | 2.875                   | 2.469                      | 62.7 | 0.203                     |
| 3                      | 3.500                   | 3.068                      | 77.9 | 0.216                     |
| 3 1/2                  | 4.000                   | 3.548                      | 90.1 | 0.226                     |

Fuente: TUVALC, S.A.

Se utiliza la tubería 62,7 mm de diámetro interior.

Ahora se debe obtener la velocidad de vapor.


$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} = 24.58m/s$$

El factor de pérdida de carga a través de la tubería seleccionada.

$$h_f = f * \frac{L}{D^5} * \frac{8Q^2}{\pi^2 g} = 156.1182847cmv$$

$$156.1182847cmv = 0.05bar$$

Figura 12. Simulación en programa PCT para determinar el diámetro de tubería

[Cálculo del diámetro mínimo uniforme de una tubería para flujo de vapor saturado o recalentado](#) 

| PROPIEDADES DE LA TUBERIA  |              |                            |                             |                                   |
|--|--------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| rugosidad absoluta   | $\epsilon$   | 0.05 mm                    | acero laminado nuevo        | 0.02 mm                           |
| rugosidad relativa   | $\epsilon/D$ | 0.000779858                |                             |                                   |
| diámetro interior  | D            | 64 mm                      |                             |                                   |
| longitud tubería recta   | L            | 16 m                       |                             |                                   |
| longitud equivalente de accesorios                                       | $L_a$        | 0 m                        | Manual                      | m                                 |
| longitud equivalente total   | $L_e$        | 16 m                       |                             |                                   |
| PROPIEDADES DEL VAPOR  |              |                            |                             |                                   |
| <i>Resueltas según industrial standard IAPWS-IF97</i>                    |              |                            |                             |                                   |
| presión manométrica en cabeza  | P            | 10 barg                    |                             | presión media del tramo 9.98 barg |
| temperatura media del tramo  | T            | 350 °C                     |                             |                                   |
| temperatura saturación media   | $T_s$        | 184.02 °C                  |                             |                                   |
| densidad media   | $\rho$       | 3.896858 kg/m <sup>3</sup> |                             |                                   |
| viscosidad dinámica media  | $\mu$        | 0.022306 cP (mPa)          |                             |                                   |
| viscosidad cinemática media  | $\nu$        | 5.724101 cSt               |                             |                                   |
| PROPIEDADES DE TRANSPORTE  |              |                            |                             |                                   |
| <i>Resueltas mediante ecuaciones de Darcy-Weisbach y White-Colebrook</i> |              |                            |                             |                                   |
| caudal volumétrico   | Q            | 273.93 m <sup>3</sup> /h   |                             |                                   |
| caudal masico  | Qm           | 1,067.46 kg/h              | No corregir de condensacion |                                   |
| caudal masico corregido  | Qmc          | 1,067.46 kg/h              |                             |                                   |
| velocidad  | v            | 23.57 m/s                  |                             |                                   |
| número de Reynolds   | R            | 2.64E+05                   |                             |                                   |
| factor de fricción   | $f_c$        | 0.019778                   |                             |                                   |
| PERDIDA DE CARGA MAX. ADMISIBLE  | h            | 130.93 mcv                 |                             |                                   |
| PERDIDA DE CARGA MAX. ADMISIBLE  | h            | 0.05 barg                  |                             | presión en cola 9.95 barg         |

**MENU**

Fuente: programa pct.

Como se puede observar, los resultados obtenidos con el programa son similares a los obtenidos por el proceso matemático.

### 3.3.2. Sistema de tubería

#### 3.3.2.1. Tubería

La tubería es el medio de conducción y distribución del vapor, así también de retornar el condensado. La adecuada disposición de la tubería, además de dar un buen aspecto a la instalación, tiene como fin reducir al mínimo las resistencias por fricción.

Los fabricantes de tuberías para usos industriales emplean comúnmente acero e hierro vaciado. La normalización en la industria de fabricación de tubería es en función de muchos grupos entre los que destacan a ASTM (*American Society of Testing Materials*). La ASTM analiza materiales, normaliza las especificaciones y procedimientos de ensayo de los materiales entregados por los fabricantes.

Los más frecuentemente empleados son los tubos de acero al carbono de acuerdo con las especificaciones ASTM A-106 y A-53. Los materiales son los mismos para ambos pero los ensayos para el A-106 son más rigurosos. Las presiones de trabajo permisibles para el A53 son de 42 Kg/cm<sup>2</sup> y para el A106 son de 176 Kg/cm<sup>2</sup>.

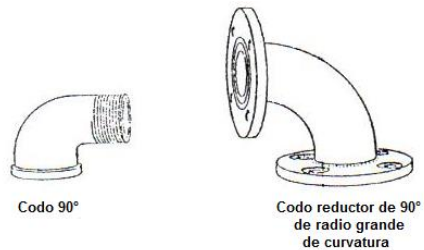
En toda instalación de tuberías es indispensable el uso de accesorios, estos se utilizan para poder adaptar la tubería a la forma del edificio y para poder cumplir con las necesidades del sistema. Entre los accesorios más utilizados están:

#### **3.3.2.2. Codos**

Son acoplamientos rígidos que cambian la dirección del fluido a 30, 45, 60 o 90 grados, son utilizados cuando el espacio es limitado o cuando el diseño de la tubería lo requiera. Los codos pueden ser: codos iguales cuando poseen dimensiones iguales en sus extremos; y codos desiguales cuando hay variación de diámetros en sus extremos.



Figura 13. **Codo a 90°**



Fuente: material de apoyo, instalaciones mecánicas.

### 3.3.2.3. **Reducciones**

Son elementos que acoplan conducciones de diferentes diámetros, estos sirven para aumentar o disminuir el diámetro, según sea la dirección del vapor.

Figura 14. **Reductor**

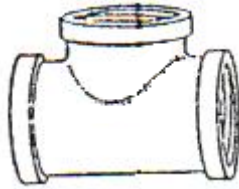


Fuente: material de apoyo, instalaciones mecánicas.

### 3.3.2.4. **Te**

Son elementos que se utilizan para acoplar tres tuberías a la vez, el diámetro de estas tuberías puede ser igual o desigual según sea las características.

Figura 15. **Te**



Fuente: material de apoyo, instalaciones mecánicas

### **3.3.2.5. Derivación en ángulo**

Al igual que las te, son elementos que acoplan tres tuberías de igual o diferentes diámetros. A diferencia de que las derivaciones en ángulo desvían el flujo en dos direcciones a 30°.

### **3.3.2.6. Cruces**

Son elementos de conexión, los cuales sirven para acoplar cuatro tuberías en un mismo plano, son utilizadas para hacer derivaciones de una línea. Las cruces pueden ser de cruz igual si poseen una misma dimensión en sus extremos o cruz desigual, si hay variación en uno o dos de sus extremos.

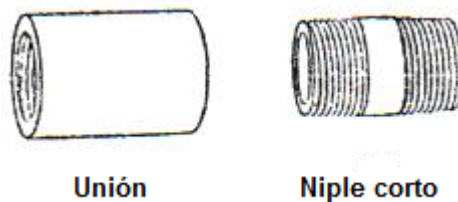
### **3.3.2.7. Juntas y uniones**

Las juntas se utilizan para unir dos tuberías del mismo diámetro, se usan dos tipos de uniones, la primera es utilizar la técnica de soldadura cuyo empleo ha reducido los costos en uniones de tuberías de acero. La segunda es utilizar roscas en los tubos lo que hace que al apretarlas queden selladas.

### 3.3.2.8. Niples y uniones

Son accesorios que sirven como enlace entre tubos del mismo diámetro. La unión posee rosca hembra, mientras que el niple tiene rosca doble macho.

Figura 16. **Unión y niple corto**



Fuente: material de apoyo, instalaciones mecánicas.

### 3.3.2.9. Tapones

Son elementos enroscados que impiden el paso del fluido hacia una dirección no deseada. Se las llama tapones para tubos cuando poseen rosca hembra y, simplemente tapas cuando están provistos de rosca macho.

### 3.3.2.10. Soportes de la tubería

Las tuberías tienen que ser sostenidas entre los puntos que conectan. Cuando no hay problemas de dilatación el montaje es sencillo pues se emplean soportes de abrazaderas, varillas y un tensor de ajuste.

La eficiencia de las juntas de dilatación exige el anclaje de las tuberías en ciertos puntos, una solución es colocar un soporte formado de perfiles de acero y pernos en forma de U los cuales fijan la tubería sobre el soporte.

### 3.3.3. Aislamiento térmico

#### 3.3.3.1. Dimensionamiento del aislante

Se debe tomar en cuenta que el aislamiento no elimina la transferencia de calor, simplemente la reduce. Entre más grueso sea el aislamiento, menor será la transferencia de calor, sin embargo, el costo del aislamiento es más elevado.

El procedimiento de cálculo para predecir la pérdida de calor y las temperaturas de la superficies en tuberías aisladas, se basa en considerar que la estructura del sistema aislante es uniforme, esto es, que el material aislante de las tuberías o superficies aisladas es de densidad uniforme.

Tabla XIX. Datos técnicos de la tubería que se pretende aislar

| Diámetro de tubería    | Símbolo    | Cantidad | unidad                           |
|------------------------|------------|----------|----------------------------------|
| Interior               | $D_{int}$  | 0.0627   | m                                |
| Espesor                | $E_{sp}$   | 0.0052   | m                                |
| Exterior               | $D_{ext}$  | 0.0730   | m                                |
| Temperatura del fluido | $T_{int}$  | 350      | °C                               |
| Temperatura ambiente   | $T_{amb}$  | 25       | °C                               |
| Cte. Stefan-Boltzman   | $\Sigma$   | 5.67E-08 | w/m <sup>2</sup> *k <sup>4</sup> |
| Coeficiente de emisión | E          | 0.9      |                                  |
| Conductividad          | K          | 0.04     | w/m°C                            |
| Tipo de tubería        | Horizontal |          |                                  |
| Ubicación de tubería   | Interior   |          |                                  |

Fuente: elaboración propia.

El coeficiente de convección interna es muy grande, lo cual produce una resistencia térmica despreciable.

$$Ra = 0.001 \frac{m}{w^{\circ}C}$$

Como la tubería estará instalada en el interior del edificio se debe evaluar el tipo de régimen en interior de edificio. Teniendo en cuenta que:

$$D_{ext}^3 * \Delta t \leq 10m^{3^{\circ}C} \rightarrow \text{flujo laminar}$$

$$D_{ext}^3 * \Delta t > 10m^{3^{\circ}C} \rightarrow \text{flujo turbulento}$$

$$D_{ext}^3 * \Delta t = (0.0730)^3 * (350 - 25) = 0.1264 \leq 10m^{3^{\circ}C} \rightarrow \text{flujo laminar}$$

Ya que se obtuvo un flujo laminar, se procede a calcular el coeficiente de convección exterior con la siguiente ecuación:

$$h_{conv} = 1.25 \sqrt[2]{\frac{\Delta t}{D}} = h_{conv} = 1.25 \sqrt[4]{\frac{(350-25)}{0.0730}} = 10.21 w/m^2^{\circ}C$$

Ahora se necesita determinar el coeficiente de radiación, por lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$h_{rad} = \varepsilon * \sigma (Tk_{sup} + Tk_{amb}) ((Tk_{sup})^2 + (Tk_{amb})^2)$$

$$h_{rad} = (0.9)(5.67 \times 10^{-8})((273.15 + 350) + (273.15 + 25))((273.15 + 350)^2 + (273.15 + 25)^2)$$

$$h_{rad} = 22.43 w/m^2^{\circ}C$$

Al sumar el coeficiente de convección y el coeficiente de radiación, se obtiene un coeficiente total de.

$$h = 10.21 + 22.43 = 32.64 w/m^2^{\circ}C$$

A continuación se procede a calcular la resistencia térmica de un cilindro:

$$R_{conv-cil} = \frac{1}{2\pi rh} = \frac{1}{2\pi(0.0365)(32.64)} = 0.1336m/w^{\circ}C$$

Lo que produce un intercambio de calor, según la ecuación

$$\frac{q}{H} = \frac{\Delta t}{\frac{1}{2\pi rh}}$$

$$\frac{q}{H} = \frac{(350-25)}{\frac{1}{2\pi(0.0365)(32.64)}} = 2,432.80w/m$$

En tuberías en interiores de edificios, se necesita que una máxima pérdida de calor sea el 10 % del flujo de calor.

$$10\% \frac{q}{H} = 243.28w/m$$

Ahora se procede a calcular el espesor que tendrá el aislamiento térmico, para ello es necesario determinar la resistencia de capa cilíndrica del espesor. Así que se debe seleccionar un espesor, para comenzar las iteraciones. Se selecciona un espesor de ½ de pulgada para iniciar las interacciones.

$$R_{cap-cilid} = \frac{\ln \frac{r_{ext}}{r_{int}}}{2\pi k}$$

$$r_{ext} = r_{int} + e_{spesor} + e_{sp-selec.}$$

$$r_{ext} = 0.03135 + 0.0052 + 0.0127 = 0.04925mm$$

$$D_1 = 2 * r_{ext} = 0.0985$$

$$r_{int} = r_{int} + e_{spesor}$$

$$r_{int} = 0.03135 + 0.0052 = 0.03655mm$$

$$R_{cap-cilid} = \frac{\ln \frac{0.04925}{0.03655}}{2\pi(0.04)} = 1.18m/w^{\circ}C$$

$$R_1 = 1.18m/w^{\circ}C$$

Se prosigue a determinar la temperatura de superficie del aislante ( $t_s$ ), para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$t_s = t_a + \frac{t_i + t_a}{\frac{h \cdot D_1}{2k} * \ln \frac{D_1}{D_{int}} + 1}$$

$$t_s = 25 + \frac{350 + 25}{\frac{32.64 * 0.0985}{2(0.04)} * \ln \frac{0.0985}{0.0627} + 1} = 41.97^{\circ}C$$

Ya que se obtuvo la temperatura superficie, se debe determinar el nuevo régimen en que se encuentra.

$$D_{ext}^3 * \Delta t = (0.0985)^3 * (41.97 - 25) = 0.01622m^3C \leq 10m^3C \rightarrow \text{flujo laminar}$$

Ya que de nuevo se trata de un flujo laminar, se procede a determinar sus respectivos coeficientes.

$$h_{conv} = 4.52w/m^2C$$

$$h_{rad} = 5.89w/m^2C$$

$$h = 4.52 + 5.89 = 10.42w/m^2C$$

Se obtiene la resistencia incluida en la capa aislante.

$$R_{conv-cil} = \frac{1}{2\pi rh} = \frac{1}{2\pi(0.04925)(10.42)} = 0.31m/w^{\circ}C$$

$$R_f = 0.31m/w^{\circ}C$$

Finalmente se obtiene el primer flujo de calor con el espesor de 12.7 mm.

$$\frac{q}{h} = \frac{t_{int} - t_{amb}}{\frac{1}{2\pi r_{int} h_{con-int}} + \sum \frac{\ln\left(\frac{r_{int+1}}{r_{int}}\right)}{2\pi k} + \frac{1}{2\pi r_{ext} h_{con-ext}}}$$

$$\frac{1}{2\pi r_{int} h_{con-int}} \approx 0$$

$$\frac{q}{h} = \frac{\Delta t}{R_a + R_1 + R_f}$$

$$\frac{q}{h} = \frac{\Delta t}{R_a + R_1 + R_f} = \frac{350 - 25}{0.001 + 1.18 + 0.31} = 217.97 \text{ w/m}$$

Se puede observar que con una capa de aislante de ½ pulgada de fibra de vidrio para proteger la tubería, el flujo de calor que se perderá es de 217,97w/m, ya que es menor al 10 % del flujo total de calor que se determinó. No se recomienda utilizar un espesor menor al de ½ pulgada, porque el flujo de calor que se perderá va a ser mucho mayor al recomendado.

### 3.3.3.2. Selección del aislante térmico

Los aislantes térmicos son materiales que se usan para suministrar resistencia al flujo de calor entre la tubería y el medio ambiente.

La mayoría de ellos son materiales heterogéneos, los cuales tienen baja conductividad térmica y contienen bolsas de aire.

La fuerza impulsora para el flujo de calor es la diferencia de temperatura, y entre más grande sea, mayor será la velocidad de transferencia de calor.



Los aislamientos térmicos actúan como barreras que retardan el flujo de calor entre dos medios a diferente temperatura.

Una de las razones para aislar la tubería es conservar la energía mediante la reducción de la velocidad del flujo de calor. Se dispone de una amplia selección de materiales para aislar que se comportan de manera satisfactoria en el rango de temperatura de -268°C hasta 1 000°C.

Un beneficio adicional del aislamiento térmico es su capacidad de reducir el ruido y las vibraciones presentes en la tubería. Con una apropiada selección del material aislante se logra, además, reducciones considerables de nivel de ruido.

La fibra de vidrio con aglutinantes orgánicos: posee estructura propia y preforma. Tiene baja conductividad térmica, facilidad de corte, alta capacidad para recuperar su forma, baja resistencia al impacto y a la compresión, buena estabilidad dimensional, bajo costo de instalación y buena absorción de ruido. Se debe proteger contra intemperie y abuso mecánico. Su temperatura máxima de aplicación es de 454°C.

Tabla XX. **Densidad y conductividad térmica de fibra de vidrio**

| Tipo     | Densidad<br>( $kg/m^2$ ) | Conductividad térmica<br>( $w/m^{\circ}C$ ) |
|----------|--------------------------|---|
| Tipo I   | 10-18                    | 0.044                                       |
| Tipo II  | 19-30                    | 0.037                                       |
| Tipo III | 31-45                    | 0.034                                       |
| Tipo IV  | 46-65                    | 0.033                                       |
| Tipo V   | 66-91                    | 0.033                                       |

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

### 3.3.4. Accesorios y equipos auxiliares

#### 3.3.4.1. Manómetros

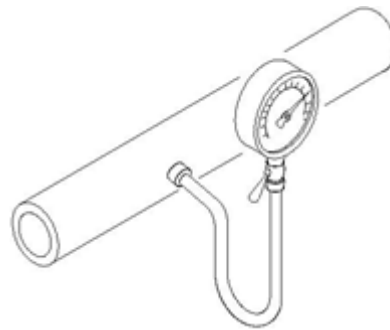
El manómetro es un instrumento que está diseñado para indicar la presión en el sistema. Su funcionamiento es muy sencillo, cuando entra la presión, el tubo del elemento Bourdon se endereza, convirtiendo presión en desplazamiento. El tubo está unido a un piñón conectado a la aguja que muestra la lectura de presión en una escala circular.

Figura 17. **Aplicaciones típicas de un manómetro**

Tubería vertical



Tubería horizontal



Fuente: Spirax Sarco.

#### 3.3.4.2. Termómetros

Los termómetros de vapor a presión son instrumentos que indican la temperatura del vapor que es transportado en la tubería, estos termómetros utilizan el hecho de que en una vasija cerrada, que no contiene más que un líquido y su vapor, llenando el líquido solo parcialmente el recinto, la presión depende solamente de la especie del líquido y de su temperatura.

### **3.3.4.3. Válvulas**

Las válvulas son dispositivos que se emplean en diversas actividades, se utilizan para evitar la circulación del vapor en sentido contrario al deseado, a estas válvulas se les conoce como anti retorno, también se encuentran válvulas reductoras cuya función es minimizar la presión del vapor, para las más importantes son las válvulas de alivio o de seguridad cuyo objetivo principal es evacuar el caudal de fluido necesario de tal forma que no se sobrepase la presión de timbre del elemento protegido.

### **3.3.4.4. Purgadores**

Un purgador de vapor es una válvula automática cuyo objetivo es descargar condensado sin permitir que escape vapor. La eficiencia de cualquier instalación que utilice vapor está en función de la capacidad de drenaje de condensado; por ello, es primordial que la purga de condensado se realice automáticamente y con el diseño apropiado.

Las trampas de vapor son la llave para optimizar el drenaje de condensado en los sistemas de vapor, deben cumplir con tres funciones básicas.

- Drenar los condensados, manteniendo las condiciones de presión y temperatura del vapor requeridos en el sistema.
- Eliminar el aire y otros gases no condensables, pues el aire y los gases disminuyen el coeficiente de calor; se debe tener en cuenta que la presencia de oxígeno y bióxido de carbono son corrosivos en presencia de condensado.

- Evitar pérdidas de vapor de alto contenido energético, así como agua del sistema.

Según el principio de operación, las trampas de vapor se clasifican en tres tipos:

- Trampas mecánicas

Cuya operación se basa en la diferencia de densidades del vapor y del condensado.

Las trampas de balde invertido han mostrado pérdidas menores en condiciones de baja carga, a comparación de otras trampas mecánicas; esto se debe a las pérdidas de vapor a través del orificio de venteo.

Las principales características de esta trampa son:

- Excelente para trabajar en procesos con presión constante o casi constante.
- La descarga del condensado es intermitente.
- No hay fugas de vapor vivo en operación normal.
- El tiempo de vida útil de la trampa es alto.
- Cuando existe contra-presión en la línea de retorno, disminuye su capacidad de descarga de condensado.
- La suciedad se acumula en el fondo de la trampa y puede ser descargada en la apertura.
- Es muy resistente a los golpes de ariete.
- Absorbe pequeñas variaciones en el flujo de condensado.

- Trampas termostáticas

Esta trampa de vapor opera por diferencia de temperatura entre el vapor y el condensado. En condiciones normales, las trampas termostáticas retienen el condensado hasta que se enfría una parte del mismo, permaneciendo cerrada la válvula principal y evitando que aparezcan pérdidas. Desafortunadamente, esto puede causar inundaciones en los equipos, lo que reduce la capacidad de calentamiento e incrementa el consumo de vapor necesario para lograr la temperatura deseada, este consumo adicional de energía se atribuye a la operación deficiente de la trampa de vapor.

Las principales características de esta trampa son:

- Puede trabajar en procesos con presión constante o modulante.
- La descarga de condensado y/o aire es intermitente.
- No hay fuga de vapor vivo, ya que trabaja por temperatura.
- El tiempo de vida útil es bueno.
- Cuando existe contra-presión en la línea de retorno la trampa puede quedar abierta.
- La suciedad puede obstruir los orificios de descarga.
- No resiste los golpes de ariete.

- Trampas termodinámicas

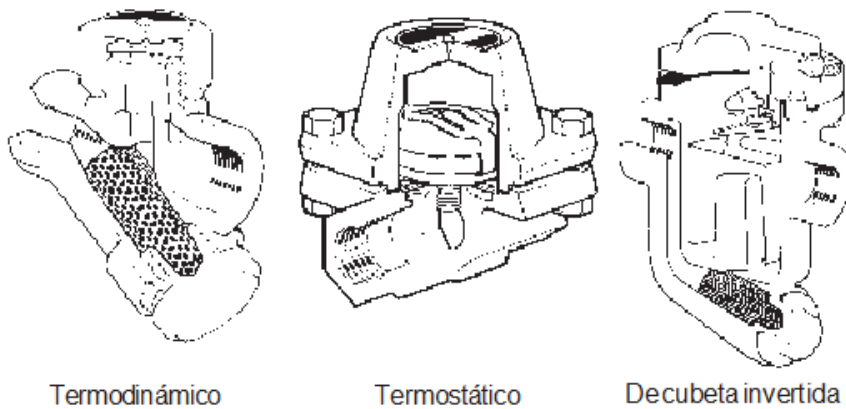
Su operación se basa en el cambio de estado que sufre el condensado. Las trampas termodinámicas pierden algo de vapor en condiciones de baja carga. El condensado, a una temperatura cercana a la del vapor, produce vapor instantáneo que al salir por el orificio causa que la trampa cierre.

En condiciones de baja carga, el condensado en la corriente de salida puede llegar a escapar, requiriendo la trampa vapor vivo para cerrarse.

Las principales características de esta trampa son:

- Puede trabajar en procesos con presión constante o modulante.
- La descarga del condensado es intermitente.
- No hay fuga de vapor vivo cuando no hay condensado.
- El tiempo de vida útil es muy bajo por su naturaleza de operación.
- Cuando existe contra presión en la línea de retorno, puede quedar cerrada.
- Resiste los golpes de ariete.
- No reconoce la presencia de condensado en la línea.

Figura 18. **Diferentes tipos de purgadores**

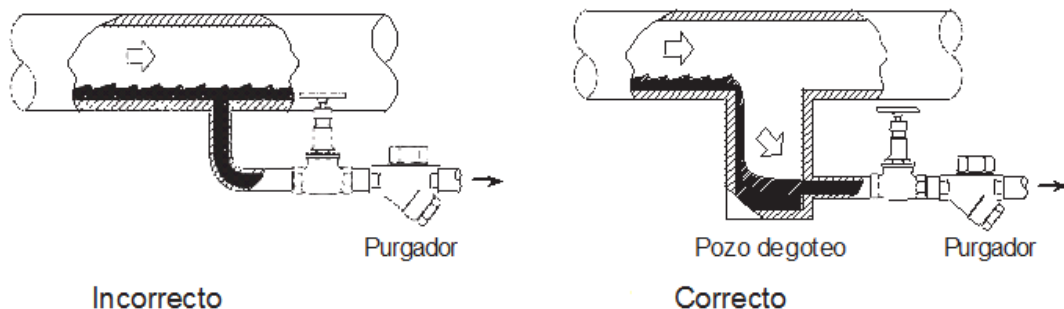


Fuente: Spirax Sarco.

Cuando se vaya a instalar un sistema de purga, se debe considerar los siguientes lineamientos, para así obtener un sistema de trampeo eficiente.

- Se debe instalar la tubería de manera que descienda en la dirección del vapor, con una pendiente no inferior a 40 mm por cada 10 m de tubería.
- La línea de vapor deben purgarse a intervalos regulares de 30 a 50 metros, así como en cualquier punto bajo del sistema.
- Para instalar un punto de purga en un tramo recto de tubería deberá utilizarse un pozo de goteo de gran tamaño, que pueda recoger el condensado. Figura 19.
- La tubería deberá instalarse de manera que haya el mínimo de puntos bajos donde se pueda acumular el agua. Si se instalan filtros, estos deben montarse con la cesta en posición horizontal.
- Se debe considerar la instalación de un separador de gotas antes de cualquier equipo de utilice vapor, para asegurarse que reciba vapor seco.
- Las trampas de vapor elegidas deben ser robustas, para evitar el riesgo de daños por golpe de ariete.

Figura 19. **Pozo de goteo**



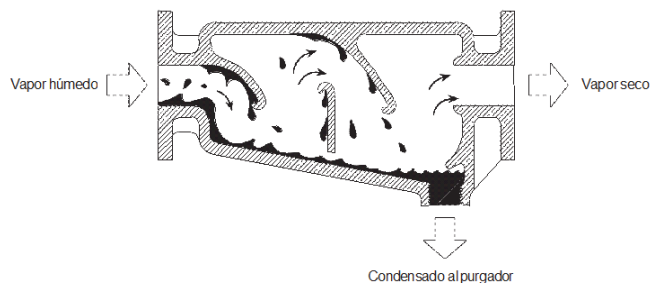
Fuente: Spirax Sarco.

### 3.3.4.5. Separador de gotas

Los separadores de gotas son accesorios de la tubería, generalmente, se instalan en la salida de la caldera. Este accesorio suele tener una forma de laberinto, donde recoge las gotas de agua que son arrastradas por el vapor, al final del recorrido y en su parte inferior está dotado de una salida para el líquido separado del vapor vivo.

Un separador evacuará tanto las gotas de agua de las paredes de la tubería como la humedad suspendida en el vapor.

Figura 20. Separador de gotas



Fuente: Spirax Sarco.

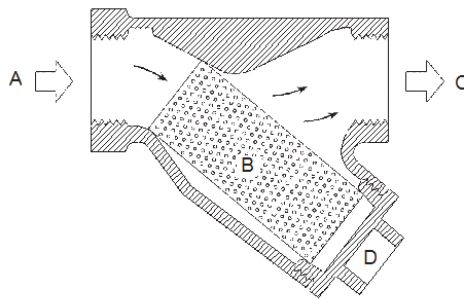
### 3.3.4.6. Filtros

Los filtros son accesorios que se utilizan para separar partículas sólidas en los sistemas de distribución de vapor que puedan dañar tanto otros accesorios como los equipos que utilizan el vapor. Cuando la instalación de la tubería es nueva, no es raro que queden fragmentos de arena de fundición, del embalaje, virutas, e incluso tornillos o turcas. En caso de que la tubería sea vieja, habrá óxido y en zonas de agua duras, depósitos de carbonato.



Por lo tanto, es sensato instalar un simple filtro en la tubería delante de cada purgador.

Figura 21. **Filtro**



Fuente: Spirax Sarco.

En la figura anterior se muestra la forma en que el vapor fluye desde la entrada "A", a través del tamiz perforado "B" hacia la salida "C". Mientras que el vapor y el agua pasarán con facilidad a través del tamiz, los residuos o la suciedad quedarán retenido. Se puede quitar el tapón "D", para retirar el tamiz y limpiar los residuos regularmente.

### **3.3.5. Distribución eléctrica**

#### **3.3.5.1. Líneas de transmisión**

La disposición física de los componentes del sistema de alimentación y la longitud y el diámetro de los cables deben ser seleccionados para minimizar las pérdidas. Las pérdidas de potencia ocurren en los cables de los sistemas eléctricos. Las pérdidas también ocurren en los interruptores, circuitos de protección, controles y otros dispositivos.

La determinación de la sección transversal de los cables entre las cargas de interconexión debe calcularse en relación con las condiciones de funcionamiento y la longitud del cable. Los factores que la sección transversal de cable incluye son:

- Carga permitida en condiciones normales, teniendo en cuenta los métodos de temperatura y diseño ambiental.
- Caída de tensión permitida a lo largo del cable para funcionar en condiciones normales y en fase de arranque.
- Protección en caso de sobrecargas y la corriente de corto circuito más pequeño posible.

## 4. IMPLEMENTACIÓN Y MANTENIMIENTO

### 4.1. Implementación

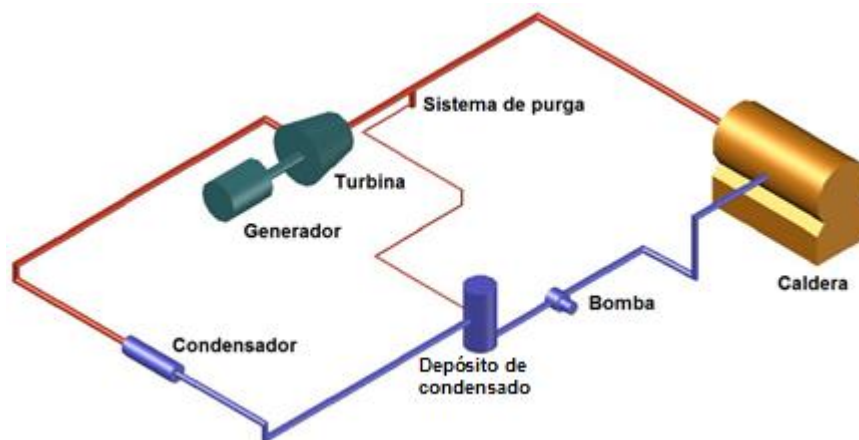
#### 4.1.1. Diseño de la planta

El diseño de la planta es el proceso de ordenar físicamente los elementos industriales, de modo que contribuyan a un sistema productivo capaz de alcanzar los objetivos fijados de la forma más adecuada y eficiente posible.

#### 4.1.2. Plano de planta

En la siguiente figura se muestra cómo la caldera suministra vapor a la turbina esta, a su vez, hace girar al generador, después que el vapor sale de la turbina entra al condensador donde es enfriado y enviado al depósito de condensado donde es almacenado, una bomba envía el agua hacia la caldera para que el ciclo vuelva a empezar.

Figura 22. Distribución de planta



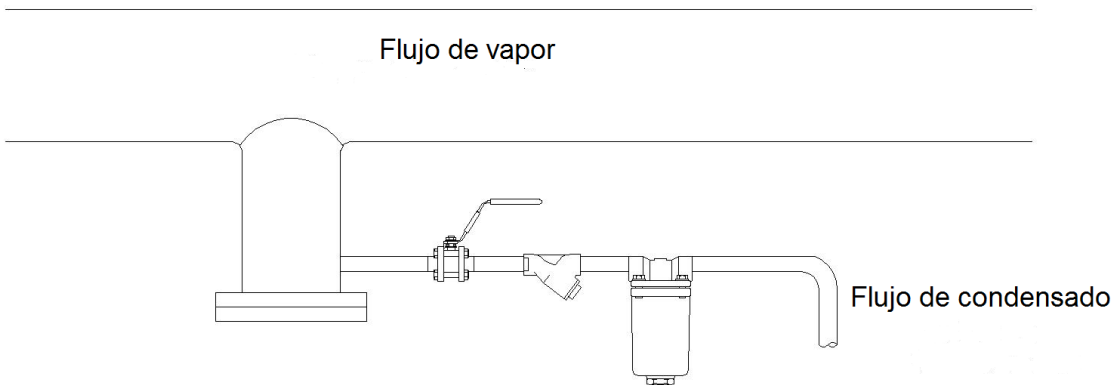
Fuente: elaboración propia.

### 4.1.3. Distribución de vapor

La distribución de vapor, está compuesta, de igual forma que cualquier red de distribución de un fluido, por tuberías y accesorios de tuberías. Sin embargo, los cambios de fase en los que se basan el empleo de este tipo de redes, hacen necesarios la utilización de determinados elementos en la red que son muy específicos de este tipo de sistemas.

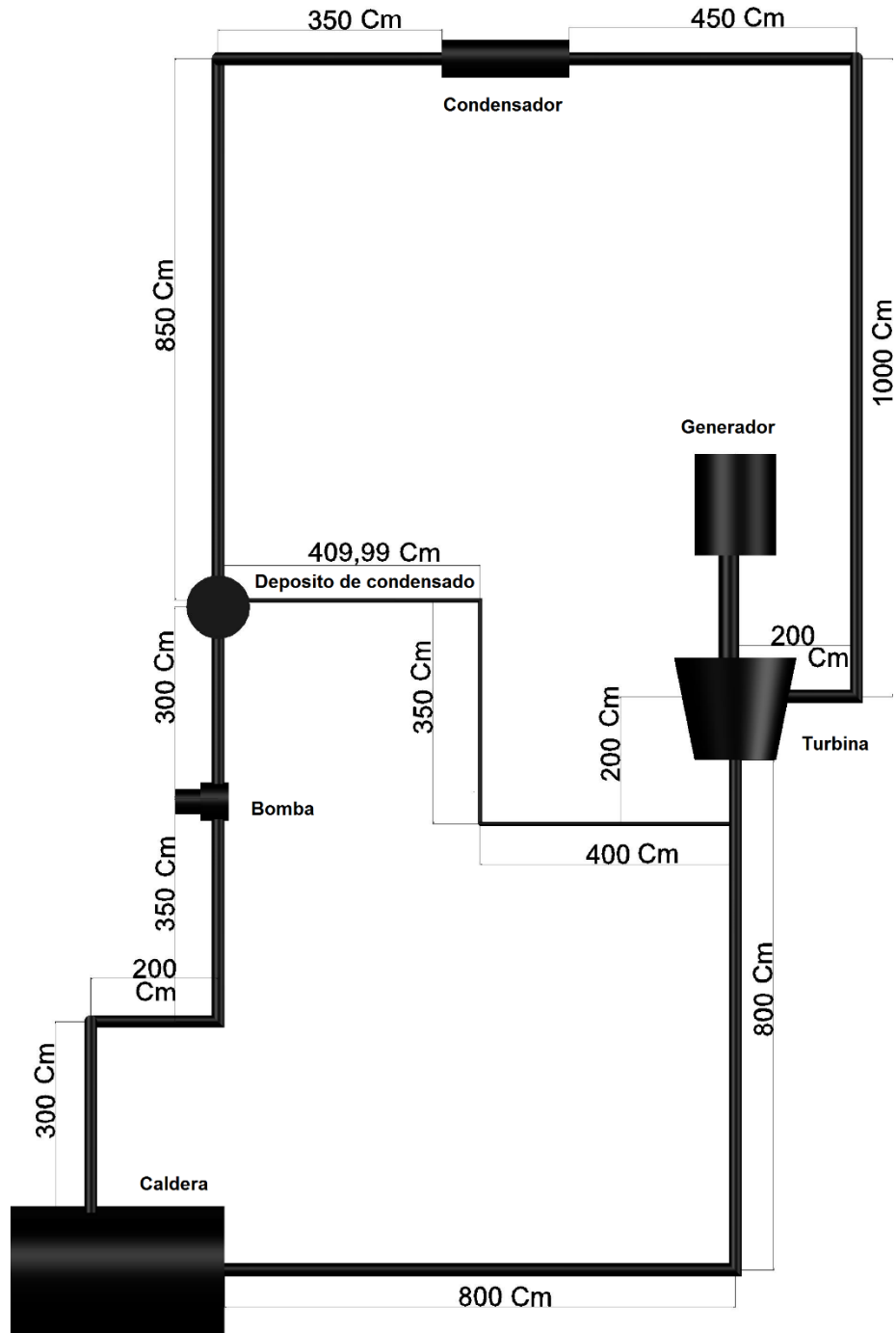
La presencia de condensado es inherente al propio proceso de uso del vapor y se produce cuando el vapor entra en contacto con puntos fríos del sistema. Por ello, se implementará un sistema de purga de condensado.

Figura 23. **Sistema de purga de condensado**



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Distribución de tubería de vapor



Fuente: elaboración propia.

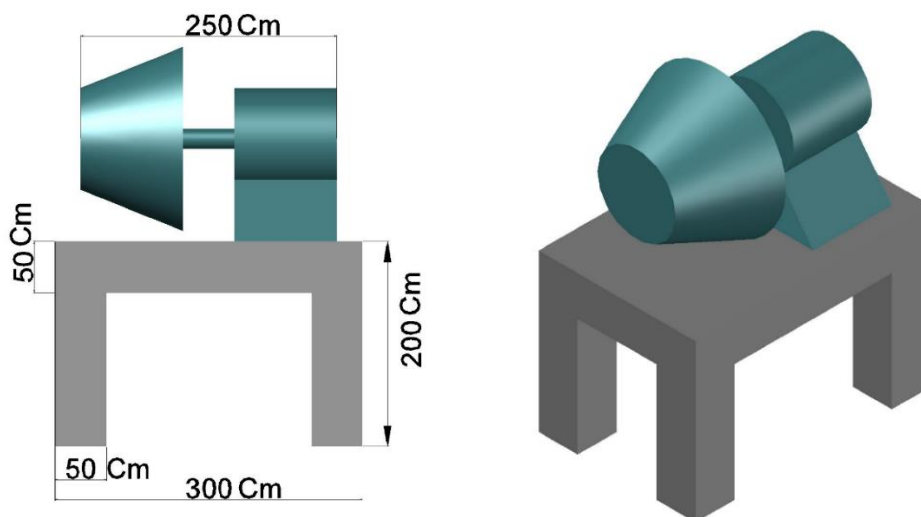
#### 4.1.4. Montaje del equipo

La cimentación de la maquinaria transmite las cargas dinámicas al suelo de desplante y estas se adicionan a las cargas estáticas debidas a la combinación del peso de la maquinaria y del bloque de soporte.

La instalación de un turbogenerador representa la colocación de equipos auxiliares, tales como condensadores, líneas de tubería de vapor que soportan grandes temperatura, de tal manera que toda la unidad, incluyendo la cimentación de la maquinaria y sus equipos auxiliares, debe estar totalmente accesibles para su inspección.

Conociendo estos requerimientos, la cimentación de tipo marco es la que se va a utilizar, se prefiere este tipo de cimentación a la de tipo bloque rígido, tomando en cuenta aspectos como el del funcionamiento y la economía.

Figura 25. Montaje de turbina

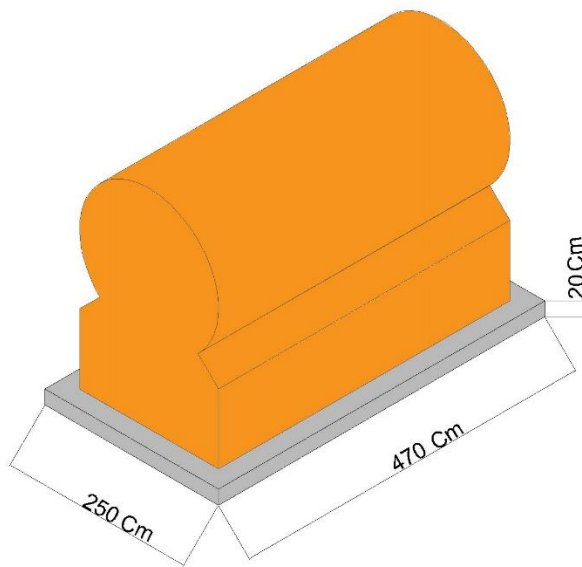


Fuente: elaboración propia.

La superficie sobre la cual descansan los soportes para el montaje de la caldera es concreto armado o sea concreto que contiene acero de refuerzo adecuado, en el que ambos materiales actúan juntos para resistir los esfuerzos a los que son sometidos.

El tipo de cimentación por utilizar es el tipo bloque, que consiste en un pedestal de concreto que soporta a la caldera, el cimiento debe ser adecuado para soportar el peso de la caldera y el agua de alimentación.

Figura 26. **Montaje caldera**



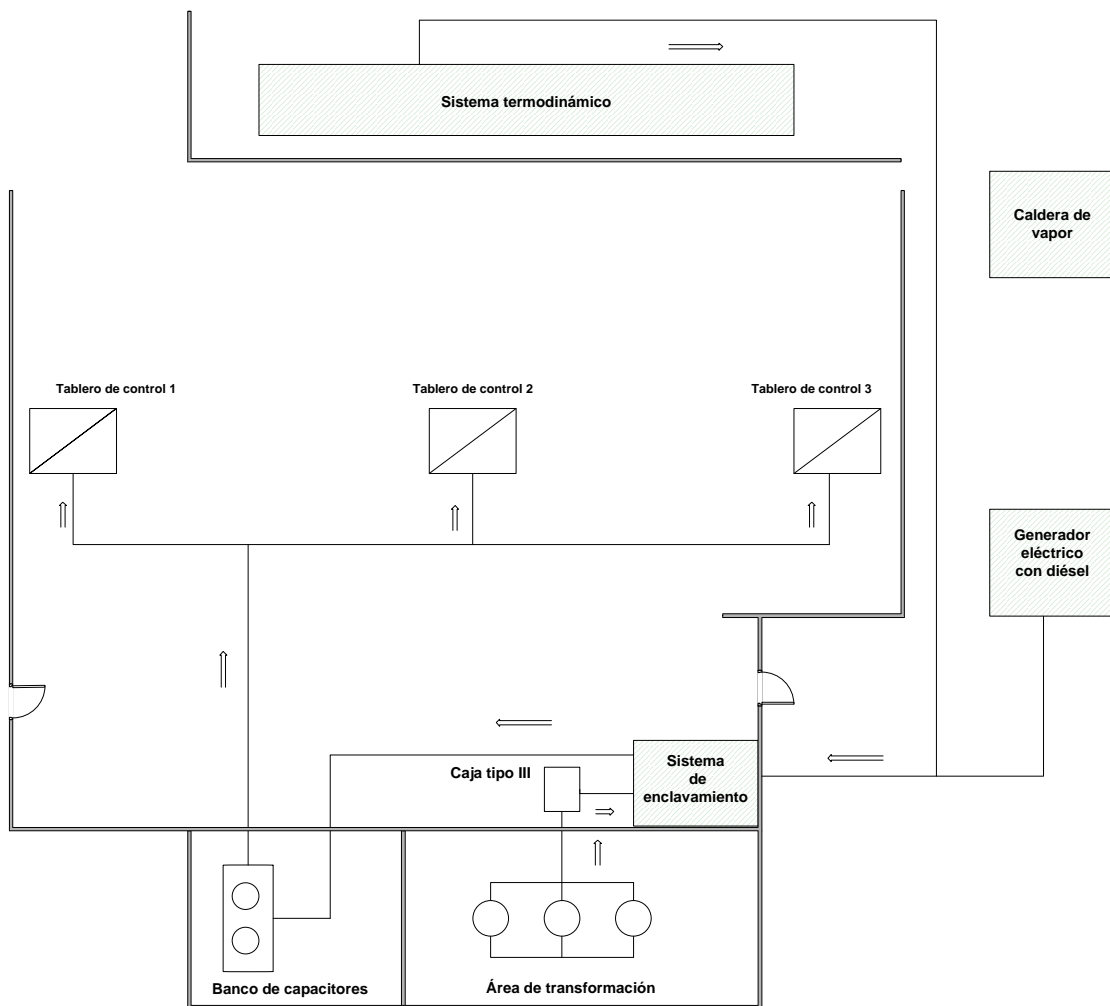
Fuente: elaboración propia.

#### **4.1.5. Plano de distribución eléctrica**

Se trata de la organización de cables para dar el camino más corto entre su punto de partida y destino final, asegurando al mismo tiempo que ciertas combinaciones no influyan negativamente en otras.

La energía eléctrica producida en el generador es transportada por medio de cables hacia el sistema de enclavamiento, donde es transportada hacia el banco de capacitores y, finalmente, es enviada hacia los tableros de control.

Figura 27. **Distribución eléctrica desde el generador**



Fuente: elaboración propia.



## **4.2. Mantenimiento**

### **4.2.1. Plan de mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo puede definirse como la conservación planeada, teniendo como función conocer sistemáticamente el estado de máquinas e instalaciones para programar en los momentos más oportunos y de menos impacto en la producción, las acciones que tratarán de eliminar las averías que originan las interrupciones. Su finalidad es reducirlas al mínimo. El mantenimiento preventivo es un instrumento de reducción de costos, que ahorra recursos en conservación y operación.

Un programa de mantenimiento preventivo es la acción de mantener en buen estado el equipo, se realizará a través de las visitas, revisiones, lubricación periódica y limpieza.

- **Visitas:** son las inspecciones o verificaciones que se ejecutan periódicamente en los equipos para comprobar su estado, seguir la evolución de las anomalías aparecidas para atajarlas antes de que lleguen a ser averías.
- **Revisiones:** son intervenciones que se realizan sobre los equipos para detectar o confirmar las anomalías localizadas durante la visita previa, reparándolas con el fin de dejar al equipo en condiciones de funcionamiento que eviten la aparición de averías.

- Lubricación periódica: es una de las actividades más importantes en el mantenimiento preventivo. La vida útil del equipo depende en gran parte de una correcta lubricación, pues un alto porcentaje de averías es consecuencia de lubricación defectuosa.

Las ventajas que se obtienen de un programa de mantenimiento son:

- Utilización completa del equipo. Los componentes se lubrican e inspeccionan sistemáticamente, por lo que la probabilidad de duración se lleva hasta el máximo y las piezas gastadas se reemplazan antes de que puedan causar fallas graves que requieren una paralización prolongada.
- Los costos de mantenimiento se reducen. El programa de mantenimiento de acuerdo con actividades organizadas y planeadas anticipadamente evita paros imprevistos y horas extraordinarias de trabajo

Los registros mínimos necesarios para organizar y controlar un programa de mantenimiento son: la ficha histórica del equipo, hoja de ruta o programa de mantenimiento, y orden de tarea de mantenimiento.

- Ficha histórica del equipo

Los datos que debe consignar esta ficha son:

- Definición de las operaciones por realizarse en la unidad del equipo.
- Frecuencia de inspección.
- Estado del equipo durante la inspección.
- Fechas y personal encargado de las inspecciones.

Tabla XXI. **Ficha histórica del equipo**

| Tarjeta No.              | Código del equipo No. | Centro de costos No. | Ficha histórica del equipo |       |       |     | Denominación del equipo |
|--------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|-------|-------|-----|-------------------------|
| Componente inspeccionado |                       | Función del equipo   | Frecuencia                 | fecha | parte | Por | Observaciones           |
|                          |                       |                      |                            |       |       |     |                         |

Fuente: material de apoyo, montaje y mantenimiento de equipo.

- Hoja de ruta o programa de mantenimiento

La hoja de ruta de mantenimiento se prepara para la asignación de tareas diarias o semanales y enumera sucesivamente las actividades que han de ejecutarse por parte del operador.

Se podrá establecer una ruta normalizada dependiendo de la combinación de mantenimiento diario, semanal, mensual o anual por llevarse a cabo. La hoja de ruta puede servir como las boletas de tareas, para los trabajos que están en lista, o bien, es posible agregar órdenes individuales.

Tabla XXII. **Hoja de ruta de mantenimiento**

| HOJA DE RUTA DE MANTENIMIENTO |     |                |                 |           |             |
|-------------------------------|-----|----------------|-----------------|-----------|-------------|
| Para _____                    |     | Asignado _____ |                 | Por _____ |             |
| Equipo.                       |     | Operación      | Tiempo estimado | Costo     | Observación |
| Denominación                  | No. |                |                 |           |             |
|                               |     |                |                 |           |             |
|                               |     | Tiempo total   |                 |           |             |

Fuente: material de apoyo, montaje y mantenimiento de equipo.

- **Orden de tarea de mantenimiento**

Aunque la orden separada de tarea no se usa para las operaciones registradas en la hoja de ruta, su inclusión resulta necesaria para las asignaciones de emergencia de los pedidos especiales de inspección recibidos por el Departamento de Mantenimiento. A continuación se presenta un modelo de orden de tarea de mantenimiento.

Tabla XXIII. Orden de tarea de mantenimiento

| ORDEN DE TAREA DE MANTENIMIENTO |                    |                |                  |               |                   |                    |          |               |       | No. |  |  |
|---------------------------------|--------------------|----------------|------------------|---------------|-------------------|--------------------|----------|---------------|-------|-----|--|--|
| Fecha                           | Fecha solicitada   | Fecha asignada | Centro de costos | Código equipo | Equipo No.        | Cuenta No.         | Urgencia |               |       |     |  |  |
|                                 |                    |                |                  |               |                   |                    | Sí       | No            |       |     |  |  |
| Nombre del equipo               |                    |                |                  |               |                   | Detenido           |          |               |       |     |  |  |
|                                 |                    |                |                  |               |                   | Sí                 | No       |               |       |     |  |  |
| Tarea por realizar              |                    |                |                  |               |                   | Fecha de detención |          |               |       |     |  |  |
|                                 |                    |                |                  |               |                   | Máquina:           |          | Departamento: |       |     |  |  |
|                                 |                    |                |                  |               |                   |                    |          |               |       |     |  |  |
| Requerido por:                  | Aprobado por:      | Electricidad   | taller           | carpintería   | soldadura         | Lubricación        | pintura  | Engrase       | corte |     |  |  |
|                                 |                    | 1              | 2                | 3             | 4                 | 5                  | 6        | 7             | 8     |     |  |  |
| Trabajo realizado por:          | Nombre             |                | Fecha            |               | Resumen de costos |                    |          |               |       |     |  |  |
|                                 | Asignado a:        |                |                  |               | Trabajo hrs.      |                    | Est.     | Act.          |       |     |  |  |
|                                 | Terminado por:     |                |                  |               | Costo M.O         |                    |          |               |       |     |  |  |
|                                 |                    |                |                  |               | Materiales        |                    |          |               |       |     |  |  |
|                                 | Inspeccionado por: |                |                  |               | Repuestos         |                    |          |               |       |     |  |  |
|                                 | Recibido por       |                |                  |               |                   |                    |          |               |       |     |  |  |
|                                 |                    |                |                  | Total:        |                   |                    |          |               |       |     |  |  |

Fuente: material de apoyo, montaje y mantenimiento de equipo.

#### 4.2.1.1. Turbina

### ORDEN DE MANTENIMIENTO

**Nombre del equipo:** Turbina de vapor y generador eléctrico.

**Serie del equipo:** SST    **Código del equipo:** 040    **Marca:** Siemens

**Área de servicio del equipo:** mantenimiento.

Tabla XXIV. Programa de mantenimiento preventivo (turbina)

| Programa de mantenimiento preventivo   |             |        |           |         |       |
|--|-------------|--------|-----------|---------|-------|
| Operación  | Descripción | Diario | Quincenal | Mensual | Anual |
| Limpieza general del equipo  |             | X      |           |         |       |
| Vigilancia de presión diferencial de filtros   |             | X      |           |         |       |
| Comprobación de alarmas y avisos   |             | X      |           |         |       |
| Inspeccionar niveles de vibración y revoluciones                                     |             | X      |           |         |       |
| Inspeccionar temperaturas de entrada y salida de vapor                               |             | X      |           |         |       |
| Inspeccionar presiones de entrada y salida   |             | X      |           |         |       |
| Comprobación de nivel de aceite  |             | X      |           |         |       |
| Inspección visual de fugas de aceite, fugas de vapor, fugas de agua de refrigeración |             | X      |           |         |       |
| Limpieza de aceite   |             |        | X         |         |       |
| Comprobación del nivel de aceite   |             |        | X         |         |       |
| Lectura de vibración   |             |        | X         |         |       |

Continuación de la tabla XXIV.

| Programa de mantenimiento preventivo  |   |        |           |         |       |
|---|---|--------|-----------|---------|-------|
| Operación   | Descripción   | Diario | Quincenal | Mensual | Anual |
| Purga de agua del aceite de lubricación   |   |        | X         |         |       |
| Inspección visual del grupo hidráulico de aceite de control   |   |        | X         |         |       |
| Inspección visual del sistema de eliminación de vahos   |   |        | X         |         |       |
| Muestras de aceite para análisis  |   |        |           | X       |       |
| Purga de agua de aceite   |   |        |           | X       |       |
| Comprobación de lubricación de reductor y alternador  |   |        |           | X       |       |
| Análisis del espectro de vibración en turbina, reductor y alternador, a velocidad nominal                       |   |        |           | X       |       |
| Inspección boroscópica de álabes  | Comprueba el estado de los álabes, las posibles incrustaciones que puedan haber aparecido en la superficie de estos y defectos en algunos de ellos, por roces o impacto   |        |           |         | X     |
| Apertura de cojinetes y comprobación del estado   | Cambio de cojinetes, si procede. La mayor parte de los cojinetes puede cambiarse o revisarse sin necesidad de abrir la turbina. Esto garantiza un funcionamiento ausente de vibraciones causados por mal estado de los cojinetes de apoyo y/o empuje.                 |        |           |         | X     |
| Análisis del espectro de vibración de turbina, reductor y alternador, a distintas velocidades y en aceleración. | Se verifica así la posible ausencia de problemas en cojinetes, el estado de la alineación y el equilibrio de los tres equipos.  |        |           |         | X     |
| Cambio de aceite, si es necesario   | Si es necesario se sustituye el aceite, pero no es habitual cambiar el aceite de forma sistemática si haber detectado síntomas de que está en mal estado. Esta acción evita trabajar con un aceite en mal estado y garantiza la ausencia de problemas de lubricación. |        |           |         | X     |
| Cambio de filtros de aceites  | Esto garantiza el buen estado del aceite y filtración de partículas extrañas.   |        |           |         | X     |

Continuación de la tabla XXIV.

| Programa de mantenimiento preventivo                                 |  |        |           |         |       |
|--|--|--------|-----------|---------|-------|
| Operación  | Descripción  | Diario | Quincenal | Mensual | Anual |
| Inspección de la válvula de regulación de turbina                    | Esto garantiza el buen estado de los elementos internos de la válvula, su correcto funcionamiento, y la comprobación del filtro de vapor de la válvula, lo que hará que la regulación sea la correcta, que no haya problemas de sincronización ni de regulación y no pasen a la turbina elementos extraños que puedan haber sido arrastrados por el vapor. |        |           |         | X     |
| Inspección del grupo hidráulico                                      | Cambio de filtros y de aceite, si procede.   |        |           |         | X     |
| Inspección del sistema de eliminación de vahos.                      | El funcionamiento a vacío del depósito de aceite garantiza que los vapores que se produzcan, especialmente los relacionados con el agua que pueda llevar mezclado el aceite, se eliminan. Eso ayudará a que la calidad del aceite de lubricación sea la adecuada.  |        |           |         | X     |
| Comprobación de pares de apriete de Tornillos                        | El apriete de los tornillos de sujeción a la bancada y los tornillos de la carcasa, entre otros, deben ser revisado. Esto evitará, entre otros, problemas de vibración debidos a un deficiente anclaje.  |        |           |         | X     |
| Comprobación de alineación de turbina-reductor y reductor-alternador | Se haya detectado o no en el análisis de vibraciones, es conveniente comprobar la alineación mediante láser al menos una vez al año. Esto evitará problemas de vibraciones   |        |           |         | X     |
| Calibración de la instrumentación.                                   | Muchas de las señales incorrectas y medidas falsas que provocarán un mal funcionamiento de la turbina pueden ser evitadas con una calibración sistemática de toda la instrumentación.  |        |           |         | X     |
| Comprobación de la presión del vapor de sellos.                      | La presión de sellos debe estar regulada a una presión determinada, ni más ni menos. Una menor presión hará que el vapor escape al exterior, se pierda energía y se puedan provocar algunos daños.   |        |           |         | X     |
| Termografía de la turbina  | Esta prueba por realizar con la turbina en marcha, permitirá saber si se están produciendo pérdidas de rendimiento por un deficiente aislamiento o por fugas de vapor.   |        |           |         | X     |



Continuación de la tabla XXIV.

| Programa de mantenimiento preventivo            |  |        |           |         |       |
|---|--|--------|-----------|---------|-------|
| Operación                                       | Descripción  | Diario | Quincenal | Mensual | Anual |
| Limpieza y mantenimiento del cuadro de control. | Curiosamente, muchas averías en sistemas eléctricos y electrónicos están causadas por la suciedad. Mantener los cuadros en su correcto estado de limpieza garantiza la ausencia de estos problemas.  |        |           |         | X     |
| Limpieza de alternador                          | La limpieza interior del alternador, especialmente los que se refrigeran por aire, suelen realizarlo empresas especializadas, con productos especiales.  |        |           |         | X     |
| Verificación eléctrica del alternador           | Es necesario verificar tanto el alternador como sus protecciones. En caso de que el personal habitual no tenga los conocimientos oportunos es conveniente realizarlo con empresas especializadas.  |        |           |         | X     |
| Cambio de filtros del alternador.               | Los filtros de aire del alternador, especialmente en los refrigerados con aire, tienen como misión garantizar que el aire en contacto con los bobinados está limpio. La comprobación del estado de estos filtros y su sustitución aprovechando la parada anual suelen garantizar la ausencia de problemas en la filtración del aire. |        |           |         | X     |

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.1.2. Caldera

### ORDEN DE MANTENIMIENTO

**Nombre del equipo:** Caldera

**Serie del equipo:** CSPM      **Código del equipo:** 1000      **Marca:** Attsu

**Área de servicio del equipo:** mantenimiento.

Tabla XXV. Programa de mantenimiento preventivo (caldera)

| Programa de mantenimiento preventivo                      |   |        |           |         |       |
|---|---|--------|-----------|---------|-------|
| Operación   | Descripción   | Diario | Quincenal | Mensual | Anual |
| Revisión del nivel de agua                                |   | X      |           |         |       |
| Inspección de presión temperatura de agua de alimentación |   | X      |           |         |       |
| Inspección la temperatura de la chimenea                  |   | X      |           |         |       |
| Inspección de presión y temperatura de aceite             |   | X      |           |         |       |
| Inspección del uso de agua de compensación                |   | X      |           |         |       |
| Inspección de presión de salida de vapor                  |   | X      |           |         |       |
| Verificación conjunto caldera-quemador                    | Comprobar el correcto funcionamiento de automatismo involucrado en la cadena de seguidores del conjunto caldera-quemador.               |        | X         |         |       |
| Comprobar funcionamiento de válvulas                      | Proceder al cierre y apertura de todas las válvulas manuales que están asociadas a la caldera, comprobando que funcionen correctamente. |        | X         |         |       |
| Comprobar funcionamiento de accesorios de caldera         | Comprobar el correcto funcionamiento de termómetros, termostatos, manómetros y presostatos.   |        | X         |         |       |
| Prueba de funcionamiento                                  | Prueba de funcionamiento del paro con interruptor de emergencia.  |        |           | X       |       |

Continuación de la tabla XXV.

| Programa de mantenimiento preventivo |   |        |           |         |       |
|--------------------------------------|---|--------|-----------|---------|-------|
| Operación                            | Descripción   | Diario | Quincenal | Mensual | Anual |
| Funcionamiento de bomba              | Prueba de buen funcionamiento de bomba de circulación o alimentación de agua.   |        |           | X       |       |
| Verificación de funcionamiento       | Verificar el buen funcionamiento de elementos del cuadro eléctrico de maniobra y control: automatismo y seguridad   |        |           | X       |       |
| Anales de gases                      | Análisis de gases y ajuste de la combustión, si es necesario.   |        |           | X       |       |
| Inspección en frío                   | Con la caldera parada se procede a la apertura de todos los registros en el lado agua y gases.  |        |           |         | X     |
| Limpieza del lado agua               | Se elimina incrustaciones y sedimentos. Prestar atención a los lugares donde se ubican la detección de nivel en calderas de vapor                           |        |           |         | X     |
| Inspeccionar                         | Inspeccionar el estado de la caldera respecto de la aparición de corrosiones y evaluar si el tratamiento de agua que se ha aplicado es correcto o mejorable |        |           |         | X     |
| Limpieza                             | Limpieza exhaustiva en el área de los gases, eliminando el hollín.  |        |           |         | X     |
| Comprobar elementos de seguridad     | Comprobar el estado de los elementos de seguridad que actúan sobre la presión, temperatura y nivel. Sustituirlos en caso necesario.                         |        |           |         | X     |
| Comprobar estado de uniones          | Comprobar el estado de las uniones soldadas entre tubos de humo y hogar con las placas delanteras y traseras.   |        |           |         | X     |
| Sustituir juntas                     | Proceder a la sustitución de juntas de los registros o elementos desmontados, limpiando o rectificando los asientos en caso de ser necesario.               |        |           |         | X     |
| Verificación de espesores            | Realizar una medición de espesores por ultrasonidos en la parte que conforma el cuerpo a presión de la caldera.   |        |           |         | X     |

Fuente: elaboración propia.



## **5. ESTUDIO LEGAL E IMPACTO AMBIENTAL**

### **5.1. Estudio legal**

A través del estudio de la viabilidad legal, se busca determinar la existencia de leyes que impidan la ejecución o desarrollo del proyecto. En los estudios de factibilidad no se deben ignorar las leyes o normas bajo las cuales se rigen las actividades del proyecto. Aunque el proyecto sea rentable financieramente, si no está dentro del marco legal, no podrá llevarse a cabo.

#### **5.1.1. Acuerdo Gubernativo 52-2003, ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable**

Guatemala cuenta con una gran cantidad de recursos renovables y su aprovechamiento eficiente otorga al país una mayor independencia en la compra de combustibles fósiles. Por ello, la república de Guatemala impulsa leyes que promueven el desarrollo de proyectos de energía renovable.

Ese es el caso del Acuerdo Gubernativo 52-2003, Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, cuyo objetivo es promover y facilitar el desarrollo de proyectos de energía renovable y establecer los incentivos fiscales, económicos y administrativos.

Las empresas que desarrollen proyectos de energía con recursos energéticos renovables gozarán de una serie de incentivos que ayudarán a impulsar esta clase de proyectos. Tal como se indica en sus incisos del artículo 5 de la presente ley.

- a) “Exención de derechos arancelarios para las importaciones, incluyendo el Impuesto al Valor Agregado IVA, cargas y derechos consulares sobre la importación de maquinaria y equipo, utilizados exclusivamente para la generación de energía en el área donde se ubiquen los proyectos de energía renovable”.
  
- b) “Exención del pago del Impuesto Sobre la Renta ISR. Este incentivo tendrá vigencia exclusiva a partir de la FIE, por un período de diez (10) años. Esta exención únicamente se otorga a las empresas que desarrollen directamente los proyectos y solamente por la parte que corresponda a dicho proyecto, ya que la exención no aplica a las demás actividades que realicen”.
  
- c) “Exención del impuesto a las Empresas Mercantiles y Agropecuarias IEMA. Este incentivo tendrá vigencia exclusiva a partir de la FIE, por un período de diez (10) años”.

#### **5.1.2. Decreto 68-86, ley de protección y mejoramiento del medio ambiente**

El objetivo primordial que tiene esta ley es velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y preservación del ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país.

Los contaminantes que deterioran la calidad del aire, son los que mayor daño hacen y provocan el calentamiento global, por ello, el artículo 14 inciso a) de la presente ley promueve el uso de métodos adecuados para reducir las emisiones que contaminan a la atmosfera.

El ruido es uno de los causantes en los trastornos físicos y psicológicos que afectan la personalidad de personas que se encuentra cerca de la fuente. Sin hablar de que puede causar pérdida parcial o total del sentido auditivo. Por eso la presente ley regula que las empresas utilicen métodos para minimizar la contaminación sonora y no se sobrepasen los límites permisibles.

### **5.1.3. Decreto 93-96, ley general de electricidad**

El Estado de Guatemala no prohíbe la generación de energía eléctrica, como se indica en el artículo uno en su inciso a), “Es libre la generación de electricidad y no se requiere para ello autorización o condición previa por parte del Estado, más que las reconocidas por la Constitución Política de la República de Guatemala y las leyes del país”.

Por ello es que en su inciso b) del artículo uno de la presente ley se indica, “Es libre el transporte de electricidad, cuando para ello no sea necesario utilizar bienes de dominio público.

## **5.2. Estudio de impacto ambiental**

Las actividades que se dedican a transformar la energía tienden a producir impactos sobre el medio ambiente que los rodea. En la mayoría, los impactos están derivados en el uso de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, causando emisiones de CO<sub>2</sub>, Provocando el efecto invernadero, lluvia acida y contaminación local.

Sin embargo, existen otras fuentes de generación de energía eléctrica llamadas fuentes de energía limpia o renovable, entre ellas se encuentran, energía eólica, solar, geotérmica, biomasa, energía producida por las olas del mar, etcétera, cuyo impacto es mínimo o nulo al medio ambiente.

La biomasa es la única fuente de energía que aporta un balance de CO<sub>2</sub> favorable siempre y cuando la obtención de la misma se realice de forma sostenible y renovable, de manera que el consumo del recurso se haga más lentamente que la capacidad de la tierra para regenerarse.

### **5.2.1. Descripción general del proyecto**

El proyecto por desarrollarse se trata de diseñar e instalar equipos capaces de generar energía eléctrica, a partir de recursos biológicos. Así pues, utilizar fuentes renovables para la producción de energía eléctrica.

El proceso que seguirá el funcionamiento de la instalación es el siguiente:

- a) El combustible (cascarilla de café) es almacenado en un lugar donde sea fácil su extracción.
- b) Se le transporta a la caldera para su combustión, donde cede su energía en forma de calor, para que el agua se convierta en vapor.
- c) El vapor generado en la caldera es transportado por medio de tuberías hacia la turbina, donde cede su energía térmica para transformarla en energía mecánica.



- d) A su vez, la turbina está conectada al generador eléctrico que convierte la energía mecánica en energía eléctrica, que es transportada a través de las líneas correspondientes.
  
- e) El vapor es transportado hacia el condensador donde se condensa y se transforma en líquido, y después es enviado al tanque de alimentación donde una bomba se encarga de enviarlo nuevamente hacia la caldera.

### **5.2.2. Tipos de residuos producidos**

En función de la tecnología y procesos implementados, además de las materias primas utilizadas para la generación de energía eléctrica, los principales impactos ambientales asociados a los sistemas termoeléctricos tienen relación con el manejo de residuos sólidos, descargas de residuos líquidos, emisiones a la atmósfera, emisiones acústicas y vibraciones. A continuación se detalla cada uno de los principales impactos previamente mencionados.

#### **5.2.2.1. Sólidos**

Las plantas de generación de energía eléctrica que utilizan carbón y biomasa como combustible son las que generan más cantidad de residuos sólidos debido al porcentaje relativamente elevado de cenizas provenientes en estos combustibles.

El principal residuo que genera la utilización de carbón y biomasa como combustible es la ceniza que puede ser de dos clases, volantes y de fondo.

Las cenizas volantes se generan por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos presentes en los gases de combustión, en general, este tipo de cenizas constituye la mayor parte, alrededor del 80 %.

Por otra parte, las cenizas de fondo son aquellas que se acumulan en la parte inferior de la caldera, contienen escoria y partículas más gruesas y pesadas que las cenizas volantes, si bien las cenizas de combustión pueden contener una amplia gama de compuestos químicos (óxido de silicio, hierro, calcio y aluminio). Generalmente, no son considerados residuos peligrosos.

#### **5.2.2.2. Líquidos**

Las descargas de aguas residuales poseen una composición química en función del combustible utilizado, así también de la etapa del proceso. A continuación se detallan los principales procesos que generan residuos líquidos.

- Uno de los procesos que generan residuos líquidos es la purga de la caldera, que corresponde al agua eliminada periódicamente para evitar la acumulación de impurezas que puedan afectar las calderas. Por lo general, estas aguas son alcalinas, con bajo contenido de sólidos disueltos y pueden contener químicos empleados para evitar la corrosión.
- Para producir vapor y no afectar negativamente los equipos se requiere de agua desmineralizada. Esto se logra a través de resinas de intercambio iónico que remueven cationes y aniones del agua cruda. Estas resinas se regeneran utilizando un ácido fuerte, tal como el ácido sulfúrico, o una base fuerte, como el hidrógeno de sodio. Este proceso genera aguas residuales que contienen iones disueltos y exceso de ácido o base.

Dadas las diferentes características de los residuos líquidos generados en las instalaciones, si estos son vertidos directamente sobre cuerpos de agua, sin tratamiento previo, pueden provocar diferentes impactos tales como: la alteración de la calidad de agua del cuerpo receptor, cambios en la estructura de la columna de agua y perturbación de las comunidades.

### **5.2.2.3. Gaseosos**

La cantidad y calidad de las características de las emisiones de la atmosfera dependen de los factores como el combustible, el tipo y el diseño de la unidad de combustión, las prácticas operacionales, las medidas de control de las emisiones y su estado de mantenimiento.

Las principales emisiones atmosféricas generadas por la combustión de combustibles fósiles o biomasa corresponden a dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), material particulado (MP), monóxido de carbono (CO) y gases de efecto invernadero como es el caso del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

### **5.2.2.4. Sonoros**

Las principales fuentes de ruido que poseerá la empresa se deben al uso de los siguientes equipos:

- Bomba y condensador
- Generador eléctrico
- Turbina y sus elementos auxiliares
- Caldera, filtros y accesorios

Los anteriores equipos pueden generar efectos sobre la salud, en caso de superar los límites permisibles, si es así, se debe incorporar sistemas de mitigación.

#### **5.2.2.5. Vibraciones**

Los equipos causan fuertes golpes sobre el suelo donde están instalados, estos golpes se transmiten parcialmente a través del terreno, de la estructura a otros equipos que estén próximos. Sin embargo, rara vez operan tal equipo con la suficiente rapidez y continuidad para provocar que los objetos próximos vibren de modo perjudicial aunque dichos golpes deben amortiguarse.

### **5.2.3. Evaluación de los efectos posibles directos e indirectos del proyecto**

#### **5.2.3.1. Población**

La incorporación del sistema termoeléctrico, incrementará el nivel de ruido generado dentro de las instalaciones del beneficio. Las fuentes de emisiones que generarán una mayor cantidad de ruido son: la caldera, la turbina y el generador eléctrico. Estas emisiones serán controladas por las medidas de mitigación que se proponen en la siguiente sección.

Por lo ya anotado, el efecto del incremento de los niveles de ruido sobre la población durante la etapa de operación del proyecto es considerado de significancia media.

#### **5.2.3.2. Flora y fauna**

En la fase de operación este efecto se dará principalmente sobre la fauna y flora que se encuentra alrededor de las instalaciones. Sin embargo, se señala que en esa zona no se encuentra ningún área protegida para la vida silvestre. También se indica que el presente proyecto no considera el incremento de líneas de transmisión eléctrica. Debido a ellos, se considera de baja significancia que tendrá el proyecto en el impacto ambiental a la flora y fauna que tendrá el proyecto.

#### **5.2.3.3. Suelo**

La posibilidad de la contaminación de los suelos, está limitada a la inadecuada disposición de los desechos sólidos (cenizas) provenientes de la caldera, también de los desechos generados durante el mantenimiento de los diferentes equipos. Entre los desechos que se generarán en el mantenimiento están grasas, aceites y repuestos, que se constituyen como elementos contaminantes. Pero si se lleva a cabo unas buenas medidas que contrarresten este impacto al ambiente, se puede reducir y/o controlar los residuos. Esta situación hace que este impacto ambiental sea considerado como de baja significancia.

#### **5.2.3.4. Aire y factores climáticos**

En la combustión de biomasa se considera que las emisiones tienen un balance neutro de CO<sub>2</sub>. Realmente, sí se produce CO<sub>2</sub> como resultado de la combustión de biomasa, pero no contribuye al aumento del efecto invernadero.

El CO<sub>2</sub> que se libera forma parte de la atmosfera actual (el CO<sub>2</sub> que absorben y liberan continuamente las plantas a través de la fotosíntesis) y no, el CO<sub>2</sub> que está almacenado en el subsuelo a lo largo de miles de años y es liberado en un breve espacio de tiempo como ocurre con los combustibles fósiles.

#### **5.2.4. Medidas de mitigación**

Las medidas de mitigación son el conjunto de medidas destinadas a prevenir, minimizar, reducir o corregir la magnitud de los impactos negativos al ambiente. A continuación se detalla cada una de las medidas de mitigación.

##### **5.2.4.1. Residuos sólidos**

Una de las medidas más utilizadas para prevenir y controlar el impacto de los residuos sólidos es disponer los residuos en depósitos y/o rellenos autorizados. Cabe señalar que muchos proyectos similares cuentan con depósitos de cenizas propios en el interior de sus instalaciones o sectores aledaños.

También se puede reutilizar el lodo resultante del tratamiento de las aguas asociadas a la desulfuración de gases de combustión en el mismo proceso de desulfuración.

##### **5.2.4.2. Residuos líquidos**

En el caso de los residuos líquidos se pueden llevar a cabo una variedad de medidas de mitigación para prevenir, minimizar o controlar el impacto provocado hacia el medio ambiente.

- Implementar sistemas cerrados de refrigeración con circulación (por ejemplo torres de refrigeración) o circuitos cerrados de refrigeración con aire seco (por ejemplo condensadores enfriados con aire).
- Sistemas de drenaje de aguas pluviales para las instalaciones de la planta, con el objetivo de minimizar el uso del agua proveniente del sistema.
- Reutilizar las aguas provenientes de la desmineralización y de las purgas de la caldera que son generalmente neutralizadas (PH neutro).
- Recolectar las cenizas volantes en estado seco para reducir la generación de residuos líquidos.

#### **5.2.4.3. Emisiones a la atmosfera**

Los sistemas de control de emisiones atmosféricas más utilizados son:

- Precipitadores electrostáticos: son equipos que presentan una alta eficiencia de remoción que va desde 80 % a 99,99 %, para todo el espectro de tamaño de partículas de material particulado, que emplean el uso de fuerzas electrostáticas que cargan a las partículas eléctricamente, para luego atraerlas a placas metálicas con cargas opuestas ubicadas en las paredes del precipitador para lo cual casi siempre se emplean tolvas en la parte inferior de la unidad.
- Filtro de telas: son equipos que tienen la misma funcionalidad que una aspiradora doméstica, es decir, el flujo de gas pasa por el material del filtro, el cual intercepta las partículas. Estos sistemas permiten eliminar partículas más pequeñas que los precipitadores electrostáticos.

- Lavadores de gases: equipos que utilizan un líquido para capturar partículas. Esta tecnología remueve material particulado a través del impacto, difusión, intercepción y/o absorción de las partículas sobre pequeñas gotas de líquido. Por su parte, el líquido que contiene a las partículas debe ser recolectado para su tratamiento correspondiente.
- Ciclones o separadores inerciales: estos equipos de limpieza de gases utilizan la fuerza centrífuga para separar el material particulado, el cual es almacenado en un cono. Estos equipos se emplean generalmente para remover partículas gruesas, con una eficiencia de 70 a 90 %.

#### **5.2.4.4. Ruido**

Las medidas de mitigación recomendadas para prevenir, reducir o controlar el ruido proveniente de la planta de generación de energía son las siguientes:

- Implementar sistemas para el control del ruido como aislamiento acústico silenciadores, cabinas, materiales que absorban el ruido en paredes y techos, aisladores de las vibraciones y conexiones flexibles.
- Utilizar barreras para reducir el ruido en zonas cercanas a la planta (por ejemplo: vegetación, paneles y otros).

#### **5.2.4.5. Cimentación**

El fin de los cimientos es distribuir las cargas concentradas que las mismas provocan sobre ciertas áreas del suelo de manera que la presión unitaria esté dentro de ciertos límites admisibles.



Las cimentaciones de maquinaria generalmente están hechas de hormigón aunque en ocasiones se han hecho de ladrillo de barro o piedra, pero sus características de resistencia no son predecibles con certeza.

Las cimentaciones de hormigón generalmente son pesadas, se montarán si es posible en tierra firme, no perturbada. De no conocer las características del suelo donde se instalará la maquinaria, debe efectuarse un análisis del mismo para establecer su resistencia unitaria.



## 6. ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO

### 6.1. Estudio económico

#### 6.1.1. Costos de inversión inicial

##### 6.1.1.1. Maquinaria y equipo

Tabla XXVI. Costos de maquinaria y equipo

| <b>Maquinaria/equipo</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Valor unitario</b> | <b>Valor total</b>     |
|--------------------------|-----------------|-----------------------|------------------------|
| Caldera                  | 1               | Q. 814 805,00         | Q. 814 805,00          |
| Envió                    | 1               | Q. 75 000,00          | Q. 75 000,00           |
| Turbina                  | 1               | Q. 65 9087,00         | Q. 659 087,00          |
| Envió                    | 1               | Q. 50 000,00          | Q. 50 000,00           |
| Condensador              | 1               | Q. 10 000,00          | Q. 10 000,00           |
| Tanque de condensado     | 1               | Q. 6 000,00           | Q. 6 000,00            |
| Bomba                    | 1               | Q. 1 650,00           | Q. 1 650,00            |
| <b>Total</b>             |                 |                       | <b>Q. 1 616 542,00</b> |

Fuente: elaboración propia.

##### 6.1.1.2. Sistema eléctrico

Tabla XXVII. Costo del sistema eléctrico

| <b>Cable</b>                      | <b>Descripción</b>   | <b>Cantidad</b> | <b>Valor unitario</b> | <b>Valor total</b> |
|-----------------------------------|--|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Cable de cobre tipo WP 600v 75 °C | Marca Viakon, calibre 4/0, son utilizados en usos generales en sistemas de distribución eléctrica. | 50 metros       | Q. 60,00              | Q. 3 000,00        |

Fuente: elaboración propia.

### 6.1.1.3. Sistema de tubería

Tabla XXVIII. Costos del sistema de tubería

| Tubería                                    | Descripción  | Cantidad       | Cantidad comercial | Valor unitario | Valor total        |
|--|--|----------------|--------------------|----------------|--------------------|
| Tubería para vapor húmedo y sobrecalentado | Tubería de acero al carbón cédula. # 40, tipo sin costura ( <i>seamless</i> ), norma API-5L, ASTM- A53 y A106, grado "B", 2 ½. | 32 metros      | 36 metros          | Q. 488,00      | Q. 2 928,00        |
| Aislante                                   | Cañuelas de fibra de vidrio, 1"  | 17.58 unidades | 18 unidades        | Q. 66,00       | Q. 1 188,00        |
| Tubería para agua caliente                 | Tubería de acero al carbón cédula. # 40, tipo sin costura ( <i>seamless</i> ), norma API-5L, ASTM- A53 y A106, grado "B", 1"   | 26 metros      | 30 metros          | Q.156,00       | Q.780,00           |
| Aislante                                   | Cañuelas de fibra de vidrio, 1"  | 28.57 unidades | 29 unidades        | Q.42,00        | Q. 1 218,00        |
| Tubería para condensado                    | Tubería de acero al carbón cédula. # 40, tipo sin costura ( <i>seamless</i> ), norma API-5L, ASTM- A53 y A106, grado "Bg", ½"  | 14 metros      | 18 metros          | Q. 92,80       | Q. 278,40          |
| Aislante                                   | Cañuelas de fibra de vidrio, 1"  | 15.38 unidades | 16 unidades        | Q. 34,00       | Q. 544,00          |
| <b>Total</b>                               |  |                |                    |                | <b>Q. 6 936,40</b> |

Fuente: elaboración propia.

#### 6.1.1.4. Accesorios y equipos auxiliares

Tabla XXIX. Tramo de la tubería que transporta vapor sobrecalentado y vapor húmedo

| Accesorio       | Modelo/tipo   | Cantidad   | Valor unitario | Valor total       |
|-----------------|---|------------|----------------|-------------------|
| Codo 90°        | Codo a 90° de hierro negro Maleable, enroscados para 150 psi vapor. 2 ½"                                  | 4 unidades | Q. 160,00      | Q. 640,00         |
| Unión universal | Unión universal de hierro negro maleable, roscada para 150 psi vapor. 2 ½"                                | 3 unidades | Q. 176,00      | Q. 528,00         |
| Filtro          | Filtro en "Y" de hierro negro maleable extremos enroscados, para 250 psi, vapor, marca spirax sarco. 2 ½" | 1 unidades | Q. 687,20      | Q. 687,20         |
|                 |   |            | <b>Total</b>   | <b>Q.1 855,20</b> |

Fuente: elaboración propia

Tabla XXX. Tramo de retorno de condensado

| Accesorio       | Modelo/tipo  | Cantidad   | Valor unitario | Valor total      |
|-----------------|--|------------|----------------|------------------|
| Codo 90°        | Codo a 90° de hierro negro maleable, enroscados para 150 psi vapor. 1"     | 5 unidades | Q. 12,80       | Q. 64,00         |
| Unión universal | Unión universal de hierro negro maleable, enroscada para 150 psi vapor. 1" | 1 unidades | Q. 52,80       | Q. 52,80         |
|                 |  |            | <b>Total</b>   | <b>Q. 116,80</b> |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. Tramo del sistema de purga

| Accesorio | Modelo/tipo   | Cantidad   | Valor unitario | Valor total       |
|-----------|---|------------|----------------|-------------------|
| Codo 90°  | Codo a 90° de hierro negro Maleable, enroscados para 150 psi vapor. ½"  | 4 unidades | Q. 6,40        | Q. 25,60          |
| Válvula   | Válvula de compuerta de hierro negro, Fairbanks para 150 psi, extremos roscados. ½"   | 1 unidades | Q. 318,17      | Q. 318,17         |
| Filtro    | Filtro en Y de hierro negro maleable extremos enroscados, para 250 psi, vapor, marca spirax sarco. ½"                         | 1 unidades | Q. 66,40       | Q. 66,40          |
| Trampa    | B1H trampa de cubeta invertida, p/250 cuerpo de H fundido Spirax Sarco, rosca NPT, confiltro incorporado Tramo horizontal. ½" | 1 unidades | Q. 1 085,60    | Q. 1 085,60       |
|           |   |            | <b>Total</b>   | <b>Q.1 495,77</b> |

Fuente: elaboración propia.

#### 6.1.1.5. instalación y montaje de equipo

Tabla XXXII. Costos de instalación y montaje de equipo

| Equipo                      | Costo de instalación y montaje |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Caldera                     | Q. 80 000,00                   |
| Turbina                     | Q. 66 000,00                   |
| Condensador, tanque y bomba | Q. 5 300,00                    |
| Tubería                     | Q. 7 500,00                    |
| Sistema eléctrico           | Q. 3 000,00                    |
| <b>Total</b>                | <b>Q. 161 800,00</b>           |

Fuente: elaboración propia.

## 6.1.2. Costos de producción

### 6.1.2.1. Mano de obra

Para la implementación del proyecto se debe contratar personal calificado, el operador de los equipos debe ser personal capacitado técnicamente, el cual es responsable de vigilar, supervisar y realizar el control del correcto funcionamiento de los equipos.

Tabla XXXIII. Costos de mano de obra

| Nombre del puesto      | Sueldo              |
|------------------------|---------------------|
| Ingeniero mecánico     | Q. 6 000,00         |
| Operador               | Q. 3 000,00         |
| Prestaciones laborales | Q. 1 875,00         |
| <b>Total</b>           | <b>Q. 10 875,00</b> |

Fuente: elaboración propia.

### 6.1.2.2. Mantenimiento

Se deberá realizar un mantenimiento preventivo adecuado de todos los sistemas de la instalación, para ello, se prevé un costo de mantenimiento.

Tabla XXXIV. Costos de mantenimiento

| Equipo           | Costo mensual      |
|------------------|--------------------|
| Turbina de vapor | Q. 1 500,00        |
| Caldera          | Q. 1 500,00        |
| Otros            | Q. 1 500,00        |
| <b>Total</b>     | <b>Q. 4 500,00</b> |

Fuente: elaboración propia.

### **6.1.3. Beneficio económico del proyecto**

Con la implementación del proyecto, se espera generar 250 KW/h de potencia

$$(250 \text{ Kw/h}) * (8 \text{ horas/día}) * (20 \text{ días/mes}) * (12 \text{ meses/año}) = 480,000 \text{ Kwh/año}$$

$$(480,000 \text{ Kwh}) * (Q. 1.6 / \text{Kwh}) = Q. 768,000$$

Lo que representaría un beneficio económico de 768 000 quetzales al año.

## **6.2. Estudio financiero**

La evaluación financiera constituye la fase final de toda una secuencia de análisis de factibilidad en los proyectos de inversión, en la cual, una vez concentrada toda la información generada en los capítulos anteriores, se aplican métodos de evaluación financiera que contemplan el valor del dinero a través del tiempo, con la finalidad de medir la eficiencia de la inversión y su probable rendimiento durante su vida útil.

### **6.2.1. Índices de evaluación del proyecto**

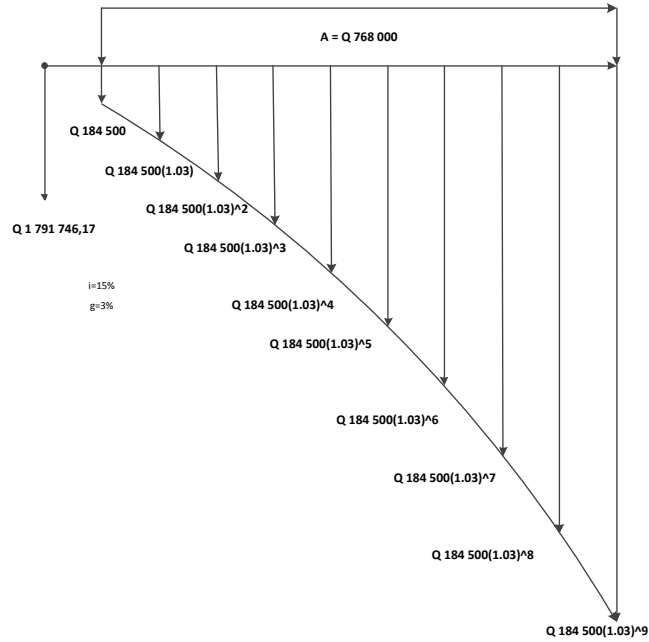
#### **6.2.1.1. Flujo neto de efectivo**

Por flujo neto de efectivo, se entiende la suma de todos los ingresos menos todos los egresos efectuados durante la vida útil del proyecto de inversión.

Se prevé un incremento del 3 % anual en los egresos por motivo del mantenimiento de los equipos. Ya que el mercado de los repuestos es muy dinámico y en el mercado guatemalteco se dispone del mercado global.



Figura 28. Flujo de efectivo



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. Flujo de efectivo para 10 años

| Años de operación | Inversión Inicial | Ingresos totales | Egresos totales | Flujo neto de efectivo |
|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------------|
| 0                 | Q. 1 791 746,17   |                  |                 | Q. -1 791 746,17       |
| 1                 |                   | Q. 768 000,00    | Q. 184 500,00   | Q. 583 500,00          |
| 2                 |                   | Q. 768 000,00    | Q. 190 035,00   | Q. 577 965,00          |
| 3                 |                   | Q. 768 000,00    | Q. 195 736,05   | Q. 572 263,95          |
| 4                 |                   | Q. 768 000,00    | Q. 201 608,13   | Q. 566 391,87          |
| 5                 |                   | Q. 768 000,00    | Q. 207 656,38   | Q. 560 343,62          |
| 6                 |                   | Q. 768 000,00    | Q. 213 886,07   | Q. 554 113,93          |
| 7                 |                   | Q. 768 000,00    | Q. 220 302,65   | Q. 547 697,35          |
| 8                 |                   | Q. 768 000,00    | Q. 226 911,73   | Q. 541 088,27          |
| 9                 |                   | Q. 768 000,00    | Q. 233 719,08   | Q. 534 280,92          |
| 10                |                   | Q. 768 000,00    | Q. 240 730,65   | Q. 527 269,35          |

Fuente: elaboración propia.

### **6.2.1.2. Valor actual neto (VAN)**

El valor actual neto (VAN), es el procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual, es decir actualizar mediante una tasa todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

Si un proyecto de inversión tiene un VAN positivo, el proyecto es rentable, y la inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida. Un VAN nulo significa que la inversión no producirá ni ganancias ni pérdidas, y un VAN negativo significa que la inversión produciría pérdidas por encima de la rentabilidad exigida.

Para fines el proyecto se utilizará una tasa de descuento del 15 %, ya que la empresa está decidida a percibir como mínimo esta tasa de interés que representa el coste de oportunidad del dinero, el VAN del proyecto obtenido por medio de Microsoft Excel es:

$$\text{VAN} = \text{Q } 1\,035\,918,83$$

Como el VAN es positivo, el proyecto es rentable, por lo tanto, el proyecto puede llevarse a cabo.

### **6.2.1.3. Tasa interna de retorno (TIR)**

Se denomina tasa interna de retorno, a la tasa de descuento que hace que el valor actual neto de una inversión sea igual a cero.

Este método considera que una inversión es aconsejable si la tasa interna de retorno resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca una TIR mayor. La TIR del proyecto obtenido por medio de Microsoft Excel es:

$$\text{TIR} = 29,29 \%$$

Ya que la TIR es superior a la tasa de descuento, el proyecto puede llevarse a cabo.

#### **6.2.1.4. Relación beneficio costo (RBC)**

La relación beneficio costo es un indicador que señala la unidad que se obtendrá con el costo que representa la inversión; es decir, que por cada quetzal invertido, cuanto es lo que se gana. El resultado de la relación beneficio costo es un índice que representa el rendimiento obtenido por cada quetzal invertido.

Si la relación B/C es  $< 1$ , el proyecto se rechaza.

Si la relación B/C es  $= 1$ , la decisión de invertir es indiferente.

Si la relación B/C es  $> 1$ , se acepta el proyecto.

Con la siguiente fórmula, se obtendrá la relación de beneficio-costos del proyecto.

$$\text{Relación B/C} = \frac{\text{Beneficios obtenidos}}{\text{Costos incurridos}}$$

$$\text{Relación B/C} = \frac{7680000}{2115085,73} = 3,63$$

El resultado anterior demuestra que, por cada quetzal invertido en el proyecto se obtendrán 2,63 quetzales de ganancia, lo que hace rentable la inversión.

#### **6.2.1.5. Período de recuperación de la inversión (PRI)**

Es el tiempo necesario para que los beneficios netos de un proyecto amorticen el capital invertido. Su objetivo primordial es conocer el tiempo en que una inversión generara los recursos suficientes para igualar el monto de la inversión inicial.

Tabla XXXVI. **Período de recuperación de la inversión**

| <b>año</b> | <b>Flujo neto de efectivo</b> | <b>Flujo neto de efectivo acumulado</b> |
|------------|-------------------------------|---|
| 0          | Q. -1 791 746,17              | Q. -1 791 746,17                        |
| 1          | Q. 583 500,00                 | Q. -1 208 246,17                        |
| 2          | Q. 577 965,00                 | Q. -630 281,17                          |
| 3          | Q. 572 263,95                 | Q. -58 017,22                           |
| 4          | Q. 566 391,87                 | Q. 508 374,65                           |
| 5          | Q. 560 343,62                 | Q. 1 068 718,27                         |
| 6          | Q. 554 113,93                 | Q. 1 622 832,21                         |
| 7          | Q. 547 697,35                 | Q. 2 170 529,56                         |
| 8          | Q. 541 088,27                 | Q. 2 711 617,83                         |
| 9          | Q. 534 280,92                 | Q. 3 245 898,75                         |
| 10         | Q. 527 269,35                 | Q. 3 773 168,10                         |

Fuente: elaboración propia.

Una vez obtenido el flujo neto de efectivo acumulado se utiliza la siguiente fórmula.

$$PRI = n - 1 + \frac{(FA)_{n-1}}{(F)_n}$$

Donde:

$n$  = año en el que cambia de signo el flujo acumulado

$(FA)_{n-1}$  = flujo neto de efectivo acumulado en el año previo a  $n$

$(F)_n$  = flujo neto de efectivo en el año  $n$

$$PRI = 4 - 1 + \frac{58\,017,22}{566\,391,87} = 3,1$$

El tiempo de recuperación de la inversión es de tres años.



## CONCLUSIONES

1. La turbina SST-040 generará 250 KW de potencia, para ello la caldera proporcionará 1067 Kg de vapor por hora a una presión de 10 bares y 350 °C, esto implicaría la combustión de 212 Kg de cascabillo de café por hora como fuente de energía.
2. Para transportar el vapor de la caldera hacia la turbina se necesitan 16 metros de tubería de acero al carbón cedula 40, sin costura con un diámetro de 2 ½ de pulgada. Este diámetro se obtuvo en función del volumen de vapor que se transporta con relación a la sección de la tubería. Para que la energía almacenada en el vapor no se pierda se calculó un espesor de ½ pulgada de fibra de vidrio como aislante térmico.
3. El lugar donde se instalaran los equipos de generación de energía eléctrica debe de poseer como mínimo 15 metros de ancho, 20 metros de largo y 5 metros de altura, para que se pueda montar la turbina que necesita un cimiento tipo marco que tiene una altura de 2 metros, por otra parte la caldera necesita una cimentación tipo bloque de concreto armado de 20 centímetros de espesor.
4. Para llevar a cabo la implementación del proyecto de generación de energía eléctrica se debe de quemar 212 Kg de cascabillo de café, que es equivalente a 28 galones de diésel, que producen 283 Kg de CO<sub>2</sub> por hora; esto es una reducción significativa en el impacto ambiental.





## RECOMENDACIONES

1. Se debe tener presente que la presencia del condensado es inherente al propio proceso de generación de vapor, por ello, es recomendable dejar salir el condensado antes y después de poner en marcha los equipos, ya que en estas fases de operación es cuando se genera mayor cantidad de condensado.
2. En la instalación y montaje de los equipos como las tuberías se debe contemplar espacios para que el personal de mantenimiento pueda realizar mantenimiento preventivo como correctivo.
3. En la instalación de la red de vapor se debe evitar montar la tubería ascendentemente ya que esto provocaría almacenamientos de condensado en ciertos puntos de la red de vapor, también evitar dimensionar la tubería guiándose solo en las conexiones de los equipos ya que es posible no tener el caudal volumétrico necesario para el funcionamiento correcto de la turbina.
4. Para la introducción del cascabillo de café hacia la caldera se recomienda la utilización de sistemas automáticos para no poner en riesgo al personal operativo de la empresa.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CENCELI, Yunus A; Boles, Michael A. *Termodinámica*. 7<sup>a</sup> ed. México. Mc Graw-Hill. 2011. 1041p.
2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Informe estadístico de mercado*. s.e. Guatemala. 2014. 92p.
3. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. *Beneficio del aislante térmico en la industria*. S.e. México. 2008. 52p.
4. Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. *Norma, Requisitos constructivos para acometidas de servicio en media tensión*. S.e Guatemala. S.f. 39p.
5. Energiza. *Turbinas de vapor*. S.e. s.l. 2011. 53p.
6. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, Consejería de Economía y Hacienda. *Guía básica de calderas industriales eficientes*. S.e. Madrid. S.f. 162p.
7. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. *Guía técnica para el diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos*. Madrid. 2010. 64p.

8. Juntas de Castilla y León. *Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor*. S.e. s.l. 2010
9. *Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable 52-2003*. 28 de octubre. Diario de Centro América, 29 de octubre del 2003. 4p.
10. *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente 68-86*. 28 de noviembre. Diario de Centro América, 29 de noviembre de 1986. 13.p
11. *Ley general de electricidad 93-96*. 16 de octubre. Diario de Centro América, 17 de octubre de 1996. 16p.
12. Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Energía. *Informe de estadísticas energéticas subsector eléctrico 2011*. S.e. Guatemala. 2012. 25p.
13. Spirax Sarco. *Purga de vapor y eliminación de aire*. S.e. Argentina. S.f. 118p.
14. Superintendencia del Medio Ambiente de Chile. *Guía de aspectos ambientales relevantes para centrales termoeléctricas*. S.e. Chile. 2014. 25p.
15. TORRES, Sergio. *Control de la producción*. S.e. Guatemala: Palacios, 2008. 200p.

# ANEXOS

## Anexo 1. Tabla A-5 del libro de Cengel

**TABLA A-5**

Agua saturada. Tabla de presiones

| Pres.,<br><i>P</i> kPa | Temp.<br>sat.,<br><i>T</i> <sub>sat</sub> °C | Volumen específico,<br><i>m</i> <sup>3</sup> /kg |   | Energía interna,<br>kJ/kg              |                                  |   | Entalpía,<br>kJ/kg                     |                                  |   | Entropía,<br>kJ/kg · K                 |                                  |   |
|------------------------|--|--|---|--|----------------------------------|---|--|----------------------------------|---|--|----------------------------------|---|
|                        |  | Liq.<br>sat.,<br><i>v</i> <sub>f</sub>           | Vapor<br>sat.,<br><i>v</i> <sub>g</sub> | Liq.<br>sat.,<br><i>u</i> <sub>f</sub> | Evap.,<br><i>u</i> <sub>fg</sub> | Vapor<br>sat.,<br><i>u</i> <sub>g</sub> | Liq.<br>sat.,<br><i>h</i> <sub>f</sub> | Evap.,<br><i>h</i> <sub>fg</sub> | Vapor<br>sat.,<br><i>h</i> <sub>g</sub> | Liq.<br>sat.,<br><i>s</i> <sub>f</sub> | Evap.,<br><i>s</i> <sub>fg</sub> | Vapor<br>sat.,<br><i>s</i> <sub>g</sub> |
| 1.0                    | 6.97   | 0.001000   | 129.19                                  | 29.302                                 | 2355.2                           | 2384.5                                  | 29.303                                 | 2484.4                           | 2513.7                                  | 0.1059                                 | 8.8690                           | 8.9749                                  |
| 1.5                    | 13.02  | 0.001001   | 87.964                                  | 54.686                                 | 2338.1                           | 2392.8                                  | 54.688                                 | 2470.1                           | 2524.7                                  | 0.1956                                 | 8.6314                           | 8.8270                                  |
| 2.0                    | 17.50  | 0.001001   | 66.990                                  | 73.431                                 | 2325.5                           | 2398.9                                  | 73.433                                 | 2459.5                           | 2532.9                                  | 0.2606                                 | 8.4621                           | 8.7227                                  |
| 2.5                    | 21.08  | 0.001002   | 54.242                                  | 88.422                                 | 2315.4                           | 2403.8                                  | 88.424                                 | 2451.0                           | 2539.4                                  | 0.3118                                 | 8.3302                           | 8.6421                                  |
| 3.0                    | 24.08  | 0.001003   | 45.654                                  | 100.98                                 | 2306.9                           | 2407.9                                  | 100.98                                 | 2443.9                           | 2544.8                                  | 0.3543                                 | 8.2222                           | 8.5765                                  |
| 4.0                    | 28.96  | 0.001004   | 34.791                                  | 121.39                                 | 2293.1                           | 2414.5                                  | 121.39                                 | 2432.3                           | 2553.7                                  | 0.4224                                 | 8.0510                           | 8.4734                                  |
| 5.0                    | 32.87  | 0.001005   | 28.185                                  | 137.75                                 | 2282.1                           | 2419.8                                  | 137.75                                 | 2423.0                           | 2560.7                                  | 0.4762                                 | 7.9176                           | 8.3938                                  |
| 7.5                    | 40.29  | 0.001008   | 19.233                                  | 168.74                                 | 2261.1                           | 2429.8                                  | 168.75                                 | 2405.3                           | 2574.0                                  | 0.5763                                 | 7.6738                           | 8.2501                                  |
| 10                     | 45.81  | 0.001010   | 14.670                                  | 191.79                                 | 2245.4                           | 2437.2                                  | 191.81                                 | 2392.1                           | 2583.9                                  | 0.6492                                 | 7.4996                           | 8.1488                                  |
| 15                     | 53.97  | 0.001014   | 10.020                                  | 225.93                                 | 2222.1                           | 2448.0                                  | 225.94                                 | 2372.3                           | 2598.3                                  | 0.7549                                 | 7.2522                           | 8.0071                                  |
| 20                     | 60.06  | 0.001017   | 7.6481                                  | 251.40                                 | 2204.6                           | 2456.0                                  | 251.42                                 | 2357.5                           | 2608.9                                  | 0.8320                                 | 7.0752                           | 7.9073                                  |
| 25                     | 64.96  | 0.001020   | 6.2034                                  | 271.93                                 | 2190.4                           | 2462.4                                  | 271.96                                 | 2345.5                           | 2617.5                                  | 0.8932                                 | 6.9370                           | 7.8302                                  |
| 30                     | 69.09  | 0.001022   | 5.2287                                  | 289.24                                 | 2178.5                           | 2467.7                                  | 289.27                                 | 2335.3                           | 2624.6                                  | 0.9441                                 | 6.8234                           | 7.7675                                  |
| 40                     | 75.86  | 0.001026   | 3.9933                                  | 317.58                                 | 2158.8                           | 2476.3                                  | 317.62                                 | 2318.4                           | 2636.1                                  | 1.0261                                 | 6.6430                           | 7.6691                                  |
| 50                     | 81.32  | 0.001030   | 3.2403                                  | 340.49                                 | 2142.7                           | 2483.2                                  | 340.54                                 | 2304.7                           | 2645.2                                  | 1.0912                                 | 6.5019                           | 7.5931                                  |
| 75                     | 91.76  | 0.001037   | 2.2172                                  | 384.36                                 | 2111.8                           | 2496.1                                  | 384.44                                 | 2278.0                           | 2662.4                                  | 1.2132                                 | 6.2426                           | 7.4558                                  |
| 100                    | 99.61  | 0.001043   | 1.6941                                  | 417.40                                 | 2088.2                           | 2505.6                                  | 417.51                                 | 2257.5                           | 2675.0                                  | 1.3028                                 | 6.0562                           | 7.3589                                  |
| 101.325                | 99.97  | 0.001043   | 1.6734                                  | 418.95                                 | 2087.0                           | 2506.0                                  | 419.06                                 | 2256.5                           | 2675.6                                  | 1.3069                                 | 6.0476                           | 7.3545                                  |
| 125                    | 105.97                                       | 0.001048   | 1.3750                                  | 444.23                                 | 2068.8                           | 2513.0                                  | 444.36                                 | 2240.6                           | 2684.9                                  | 1.3741                                 | 5.9100                           | 7.2841                                  |
| 150                    | 111.35                                       | 0.001053   | 1.1594                                  | 466.97                                 | 2052.3                           | 2519.2                                  | 467.13                                 | 2226.0                           | 2693.1                                  | 1.4337                                 | 5.7894                           | 7.2231                                  |
| 175                    | 116.04                                       | 0.001057   | 1.0037                                  | 486.82                                 | 2037.7                           | 2524.5                                  | 487.01                                 | 2213.1                           | 2700.2                                  | 1.4850                                 | 5.6865                           | 7.1716                                  |
| 200                    | 120.21                                       | 0.001061   | 0.88578                                 | 504.50                                 | 2024.6                           | 2529.1                                  | 504.71                                 | 2201.6                           | 2706.3                                  | 1.5302                                 | 5.5968                           | 7.1270                                  |
| 225                    | 123.97                                       | 0.001064   | 0.79329                                 | 520.47                                 | 2012.7                           | 2533.2                                  | 520.71                                 | 2191.0                           | 2711.7                                  | 1.5706                                 | 5.5171                           | 7.0877                                  |
| 250                    | 127.41                                       | 0.001067   | 0.71873                                 | 535.08                                 | 2001.8                           | 2536.8                                  | 535.35                                 | 2181.2                           | 2716.5                                  | 1.6072                                 | 5.4453                           | 7.0525                                  |
| 275                    | 130.58                                       | 0.001070   | 0.65732                                 | 548.57                                 | 1991.6                           | 2540.1                                  | 548.86                                 | 2172.0                           | 2720.9                                  | 1.6408                                 | 5.3800                           | 7.0207                                  |
| 300                    | 133.52                                       | 0.001073   | 0.60582                                 | 561.11                                 | 1982.1                           | 2543.2                                  | 561.43                                 | 2163.5                           | 2724.9                                  | 1.6717                                 | 5.3200                           | 6.9917                                  |
| 325                    | 136.27                                       | 0.001076   | 0.56199                                 | 572.84                                 | 1973.1                           | 2545.9                                  | 573.19                                 | 2155.4                           | 2728.6                                  | 1.7005                                 | 5.2645                           | 6.9650                                  |
| 350                    | 138.86                                       | 0.001079   | 0.52422                                 | 583.89                                 | 1964.6                           | 2548.5                                  | 584.26                                 | 2147.7                           | 2732.0                                  | 1.7274                                 | 5.2128                           | 6.9402                                  |
| 375                    | 141.30                                       | 0.001081   | 0.49133                                 | 594.32                                 | 1956.6                           | 2550.9                                  | 594.73                                 | 2140.4                           | 2735.1                                  | 1.7526                                 | 5.1645                           | 6.9171                                  |
| 400                    | 143.61                                       | 0.001084   | 0.46242                                 | 604.22                                 | 1948.9                           | 2553.1                                  | 604.66                                 | 2133.4                           | 2738.1                                  | 1.7765                                 | 5.1191                           | 6.8955                                  |
| 450                    | 147.90                                       | 0.001088   | 0.41392                                 | 622.65                                 | 1934.5                           | 2557.1                                  | 623.14                                 | 2120.3                           | 2743.4                                  | 1.8205                                 | 5.0356                           | 6.8561                                  |
| 500                    | 151.83                                       | 0.001093   | 0.37483                                 | 639.54                                 | 1921.2                           | 2560.7                                  | 640.09                                 | 2108.0                           | 2748.1                                  | 1.8604                                 | 4.9603                           | 6.8207                                  |
| 550                    | 155.46                                       | 0.001097   | 0.34261                                 | 655.16                                 | 1908.8                           | 2563.9                                  | 655.77                                 | 2096.6                           | 2752.4                                  | 1.8970                                 | 4.8916                           | 6.7886                                  |
| 600                    | 158.83                                       | 0.001101   | 0.31560                                 | 669.72                                 | 1897.1                           | 2566.8                                  | 670.38                                 | 2085.8                           | 2756.2                                  | 1.9308                                 | 4.8285                           | 6.7593                                  |
| 650                    | 161.98                                       | 0.001104   | 0.29260                                 | 683.37                                 | 1886.1                           | 2569.4                                  | 684.08                                 | 2075.5                           | 2759.6                                  | 1.9623                                 | 4.7699                           | 6.7322                                  |
| 700                    | 164.95                                       | 0.001108   | 0.27278                                 | 696.23                                 | 1875.6                           | 2571.8                                  | 697.00                                 | 2065.8                           | 2762.8                                  | 1.9918                                 | 4.7153                           | 6.7071                                  |
| 750                    | 167.75                                       | 0.001111   | 0.25552                                 | 708.40                                 | 1865.6                           | 2574.0                                  | 709.24                                 | 2056.4                           | 2765.7                                  | 2.0195                                 | 4.6642                           | 6.6837                                  |

Fuente: CENGEL, Yunus A; BOLES, Michael A. *Termodinámica*. p.916.

## Anexo 2. Tabla A-6 del libro de Cengel

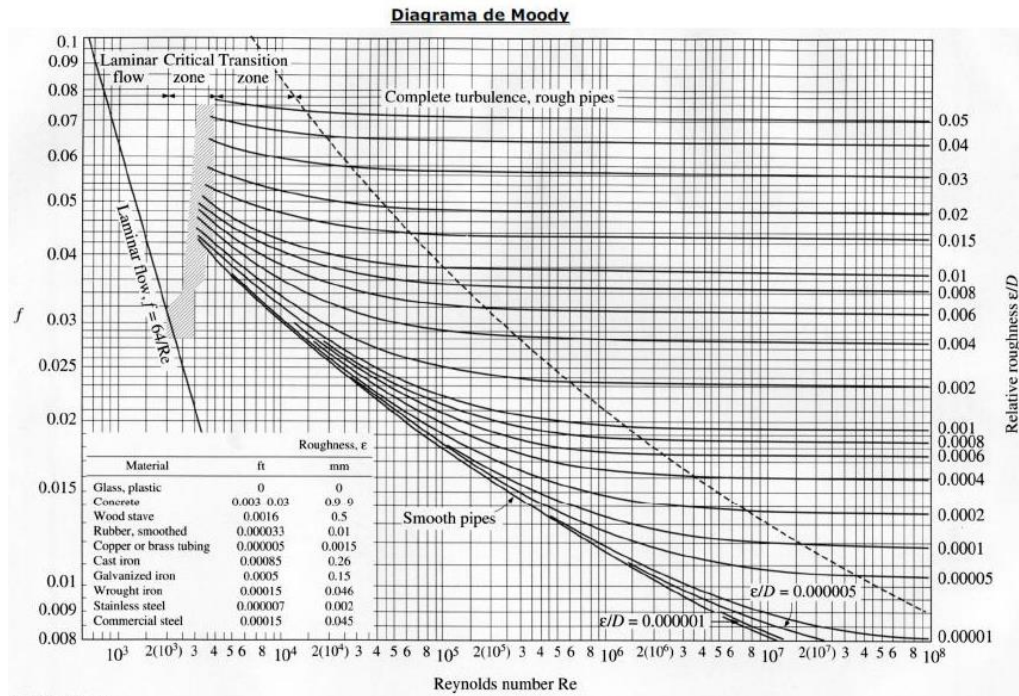
**TABLA A-6**

Vapor de agua sobrecalentado (continuación)

| $T$<br>°C                          | $v$<br>m <sup>3</sup> /kg | $u$<br>kJ/kg | $h$<br>kJ/kg | $s$<br>kJ/kg · K                   | $v$<br>m <sup>3</sup> /kg | $u$<br>kJ/kg | $h$<br>kJ/kg | $s$<br>kJ/kg · K                   | $v$<br>m <sup>3</sup> /kg | $u$<br>kJ/kg | $h$<br>kJ/kg | $s$<br>kJ/kg · K |
|------------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|------------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|------------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|------------------|
| $P = 1.00 \text{ MPa (179.88 °C)}$ |                           |              |              | $P = 1.20 \text{ MPa (187.96 °C)}$ |                           |              |              | $P = 1.40 \text{ MPa (195.04 °C)}$ |                           |              |              |                  |
| Sat.                               | 0.19437                   | 2582.8       | 2777.1       | 6.5850                             | 0.16326                   | 2587.8       | 2783.8       | 6.5217                             | 0.14078                   | 2591.8       | 2788.9       | 6.4675           |
| 200                                | 0.20602                   | 2622.3       | 2828.3       | 6.6956                             | 0.16934                   | 2612.9       | 2816.1       | 6.5909                             | 0.14303                   | 2602.7       | 2803.0       | 6.4975           |
| 250                                | 0.23275                   | 2710.4       | 2943.1       | 6.9265                             | 0.19241                   | 2704.7       | 2935.6       | 6.8313                             | 0.16356                   | 2698.9       | 2927.9       | 6.7488           |
| 300                                | 0.25799                   | 2793.7       | 3051.6       | 7.1246                             | 0.21386                   | 2789.7       | 3046.3       | 7.0335                             | 0.18233                   | 2785.7       | 3040.9       | 6.9553           |
| 350                                | 0.28250                   | 2875.7       | 3158.2       | 7.3029                             | 0.23455                   | 2872.7       | 3154.2       | 7.2139                             | 0.20029                   | 2869.7       | 3150.1       | 7.1379           |
| 400                                | 0.30661                   | 2957.9       | 3264.5       | 7.4670                             | 0.25482                   | 2955.5       | 3261.3       | 7.3793                             | 0.21782                   | 2953.1       | 3258.1       | 7.3046           |
| 500                                | 0.35411                   | 3125.0       | 3479.1       | 7.7642                             | 0.29464                   | 3123.4       | 3477.0       | 7.6779                             | 0.25216                   | 3121.8       | 3474.8       | 7.6047           |
| 600                                | 0.40111                   | 3297.5       | 3698.6       | 8.0311                             | 0.33395                   | 3296.3       | 3697.0       | 7.9456                             | 0.28597                   | 3295.1       | 3695.5       | 7.8730           |
| 700                                | 0.44783                   | 3476.3       | 3924.1       | 8.2755                             | 0.37297                   | 3475.3       | 3922.9       | 8.1904                             | 0.31951                   | 3474.4       | 3921.7       | 8.1183           |
| 800                                | 0.49438                   | 3661.7       | 4156.1       | 8.5024                             | 0.41184                   | 3661.0       | 4155.2       | 8.4176                             | 0.35288                   | 3660.3       | 4154.3       | 8.3458           |
| 900                                | 0.54083                   | 3853.9       | 4394.8       | 8.7150                             | 0.45059                   | 3853.3       | 4394.0       | 8.6303                             | 0.38614                   | 3852.7       | 4393.3       | 8.5587           |
| 1000                               | 0.58721                   | 4052.7       | 4640.0       | 8.9155                             | 0.48928                   | 4052.2       | 4639.4       | 8.8310                             | 0.41933                   | 4051.7       | 4638.8       | 8.7595           |
| 1100                               | 0.63354                   | 4257.9       | 4891.4       | 9.1057                             | 0.52792                   | 4257.5       | 4891.0       | 9.0212                             | 0.45247                   | 4257.0       | 4890.5       | 8.9497           |
| 1200                               | 0.67983                   | 4469.0       | 5148.9       | 9.2866                             | 0.56652                   | 4468.7       | 5148.5       | 9.2022                             | 0.48558                   | 4468.3       | 5148.1       | 9.1308           |
| 1300                               | 0.72610                   | 4685.8       | 5411.9       | 9.4593                             | 0.60509                   | 4685.5       | 5411.6       | 9.3750                             | 0.51866                   | 4685.1       | 5411.3       | 9.3036           |
| $P = 1.60 \text{ MPa (201.37 °C)}$ |                           |              |              | $P = 1.80 \text{ MPa (207.11 °C)}$ |                           |              |              | $P = 2.00 \text{ MPa (212.38 °C)}$ |                           |              |              |                  |
| Sat.                               | 0.12374                   | 2594.8       | 2792.8       | 6.4200                             | 0.11037                   | 2597.3       | 2795.9       | 6.3775                             | 0.09959                   | 2599.1       | 2798.3       | 6.3390           |
| 225                                | 0.13293                   | 2645.1       | 2857.8       | 6.5537                             | 0.11678                   | 2637.0       | 2847.2       | 6.4825                             | 0.10381                   | 2628.5       | 2836.1       | 6.4160           |
| 250                                | 0.14190                   | 2692.9       | 2919.9       | 6.6753                             | 0.12502                   | 2686.7       | 2911.7       | 6.6088                             | 0.11150                   | 2680.3       | 2903.3       | 6.5475           |
| 300                                | 0.15866                   | 2781.6       | 3035.4       | 6.8864                             | 0.14025                   | 2777.4       | 3029.9       | 6.8246                             | 0.12551                   | 2773.2       | 3024.2       | 6.7684           |
| 350                                | 0.17459                   | 2866.6       | 3146.0       | 7.0713                             | 0.15460                   | 2863.6       | 3141.9       | 7.0120                             | 0.13860                   | 2860.5       | 3137.7       | 6.9583           |
| 400                                | 0.19007                   | 2950.8       | 3254.9       | 7.2394                             | 0.16849                   | 2948.3       | 3251.6       | 7.1814                             | 0.15122                   | 2945.9       | 3248.4       | 7.1292           |
| 500                                | 0.22029                   | 3120.1       | 3472.6       | 7.5410                             | 0.19551                   | 3118.5       | 3470.4       | 7.4845                             | 0.17568                   | 3116.9       | 3468.3       | 7.4337           |
| 600                                | 0.24999                   | 3293.9       | 3693.9       | 7.8101                             | 0.22200                   | 3292.7       | 3692.3       | 7.7543                             | 0.19962                   | 3291.5       | 3690.7       | 7.7043           |
| 700                                | 0.27941                   | 3473.5       | 3920.5       | 8.0558                             | 0.24822                   | 3472.6       | 3919.4       | 8.0005                             | 0.22326                   | 3471.7       | 3918.2       | 7.9509           |
| 800                                | 0.30865                   | 3659.5       | 4153.4       | 8.2834                             | 0.27426                   | 3658.8       | 4152.4       | 8.2284                             | 0.24674                   | 3658.0       | 4151.5       | 8.1791           |
| 900                                | 0.33780                   | 3852.1       | 4392.6       | 8.4965                             | 0.30020                   | 3851.5       | 4391.9       | 8.4417                             | 0.27012                   | 3850.9       | 4391.1       | 8.3925           |
| 1000                               | 0.36687                   | 4051.2       | 4638.2       | 8.6974                             | 0.32606                   | 4050.7       | 4637.6       | 8.6427                             | 0.29342                   | 4050.2       | 4637.1       | 8.5936           |
| 1100                               | 0.39589                   | 4256.6       | 4890.0       | 8.8878                             | 0.35188                   | 4256.2       | 4889.6       | 8.8331                             | 0.31667                   | 4255.7       | 4889.1       | 8.7842           |
| 1200                               | 0.42488                   | 4467.9       | 5147.7       | 9.0689                             | 0.37766                   | 4467.6       | 5147.3       | 9.0143                             | 0.33989                   | 4467.2       | 5147.0       | 8.9654           |
| 1300                               | 0.45383                   | 4684.8       | 5410.9       | 9.2418                             | 0.40341                   | 4684.5       | 5410.6       | 9.1872                             | 0.36308                   | 4684.2       | 5410.3       | 9.1384           |
| $P = 2.50 \text{ MPa (223.95 °C)}$ |                           |              |              | $P = 3.00 \text{ MPa (233.85 °C)}$ |                           |              |              | $P = 3.50 \text{ MPa (242.56 °C)}$ |                           |              |              |                  |
| Sat.                               | 0.07995                   | 2602.1       | 2801.9       | 6.2558                             | 0.06667                   | 2603.2       | 2803.2       | 6.1856                             | 0.05706                   | 2603.0       | 2802.7       | 6.1244           |
| 225                                | 0.08026                   | 2604.8       | 2805.5       | 6.2629                             |                           |              |              |                                    |                           |              |              |                  |
| 250                                | 0.08705                   | 2663.3       | 2880.9       | 6.4107                             | 0.07063                   | 2644.7       | 2856.5       | 6.2893                             | 0.05876                   | 2624.0       | 2829.7       | 6.1764           |
| 300                                | 0.09894                   | 2762.2       | 3009.6       | 6.6459                             | 0.08118                   | 2750.8       | 2994.3       | 6.5412                             | 0.06845                   | 2738.8       | 2978.4       | 6.4484           |
| 350                                | 0.10979                   | 2852.5       | 3127.0       | 6.8424                             | 0.09056                   | 2844.4       | 3116.1       | 6.7450                             | 0.07680                   | 2836.0       | 3104.9       | 6.6601           |
| 400                                | 0.12012                   | 2939.8       | 3240.1       | 7.0170                             | 0.09938                   | 2933.6       | 3231.7       | 6.9235                             | 0.08456                   | 2927.2       | 3223.2       | 6.8428           |
| 450                                | 0.13015                   | 3026.2       | 3351.6       | 7.1768                             | 0.10789                   | 3021.2       | 3344.9       | 7.0856                             | 0.09198                   | 3016.1       | 3338.1       | 7.0074           |
| 500                                | 0.13999                   | 3112.8       | 3462.8       | 7.3254                             | 0.11620                   | 3108.6       | 3457.2       | 7.2359                             | 0.09919                   | 3104.5       | 3451.7       | 7.1593           |
| 600                                | 0.15931                   | 3288.5       | 3686.8       | 7.5979                             | 0.13245                   | 3285.5       | 3682.8       | 7.5103                             | 0.11325                   | 3282.5       | 3678.9       | 7.4357           |
| 700                                | 0.17835                   | 3469.3       | 3915.2       | 7.8455                             | 0.14841                   | 3467.0       | 3912.2       | 7.7590                             | 0.12702                   | 3464.7       | 3909.3       | 7.6855           |
| 800                                | 0.19722                   | 3656.2       | 4149.2       | 8.0744                             | 0.16420                   | 3654.3       | 4146.9       | 7.9885                             | 0.14061                   | 3652.5       | 4144.6       | 7.9156           |
| 900                                | 0.21597                   | 3849.4       | 4389.3       | 8.2882                             | 0.17988                   | 3847.9       | 4387.5       | 8.2028                             | 0.15410                   | 3846.4       | 4385.7       | 8.1304           |
| 1000                               | 0.23466                   | 4049.0       | 4635.6       | 8.4897                             | 0.19549                   | 4047.7       | 4634.2       | 8.4045                             | 0.16751                   | 4046.4       | 4632.7       | 8.3324           |
| 1100                               | 0.25330                   | 4254.7       | 4887.9       | 8.6804                             | 0.21105                   | 4253.6       | 4886.7       | 8.5955                             | 0.18087                   | 4252.5       | 4885.6       | 8.5236           |
| 1200                               | 0.27190                   | 4466.3       | 5146.0       | 8.8618                             | 0.22658                   | 4465.3       | 5145.1       | 8.7771                             | 0.19420                   | 4464.4       | 5144.1       | 8.7053           |

Fuente: CENGEL, Yunus A; BOLES, Michael A. *Termodinámica*. p.919.

### Anexo 3. Diagrama de Moody



Fuente: material de apoyo, instalaciones mecánicas.

