

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA		
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA		
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
Nº DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
Ejecutor 1		
Nombre (s):	Christian Ivan	
Apellido (s):	Borda Prieto	
Código:	20161375007	
E-mail:	Ivan.borda94@gmail.com	
Teléfono fijo:	7144499	
Celular:	3125678846	
Ejecutor 2		
Nombre (s):	Jorge Andrés	
Apellido (s):	Castillo Lopez	
Código:	20161375006	
E-mail:	joacastillo@hotmail.com	
Teléfono fijo:	7519722	
Celular:	3229428037	
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	Diseño de Sistema de Ciclo Rankine Orgánico mediante el aprovechamiento de calor residual industrial para una potencia mínima de 10kW.	
Duración (estimada):	6 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	X
	Prestación y Servicios Tecnológicos	
	Otro	
Modalidad del Trabajo de Grado:	Monografía	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Optimización de procesos industriales	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Conversión de energías y mecánica de fluidos	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Termodinámica, Mecánica de Fluidos, Transferencia de Calor, Diseño Mecánico	
INFORMACIÓN PASANTÍA		
Nombre de la empresa:		
Dirección:		
Teléfonos:		
Correo electrónico:		
Página Web:		
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)	German Arturo López Martínez	
Proyecto de Pasantía: (Tutor) (Vo. Bo.)		
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	German Arturo López Martínez	

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.1 ESTADO DEL ARTE	5
1.2 JUSTIFICACIÓN	6
2. OBJETIVOS.....	7
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
3. MARCO TEÓRICO	8
3.1 Ciclo Rankine	8
3.1.1 Evaporador	8
3.1.2 Turbina	9
3.1.3 Condensador	9
3.2 CICLO Rankine Orgánico (ORC).....	10
3.3 Fluido de trabajo.....	10
3.4 Análisis de energía del ciclo Rankine	11
4. METODOLOGÍA	13
5. CRONOGRAMA	
.FUENTES DE IFINANCIACIÓN Y PRESUPUESTO	
7. BIBLIOGRAFÍA.....	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1 Esquema general y diagrama T-s Ciclo Rankine Ideal.....	8
Fig. 2. Ciclo Rankine Orgánico para un motor de combustión interna.....	9
Fig. 3. Turbina de vapor de Siemens	9
Fig. 4. Condensador sistema de refrigeración industrial con R22	10
Fig. 5. Comparación en diagramas T-s para fluidos: a) Isoentrópicos, b) húmedos, c) secos	10
Fig. 6. Diagrama T-s para distintos fluidos orgánicos.....	11
Fig. 7. Desviación del ciclo real respecto del ideal. b) efecto de las irreversibilidades en el ciclo ideal	12
Fig. 8 Diagrama de Gantt.....	

RESUMEN

La energía a través de los años ha sido escasa, costosa y su producción y consumo resulta contaminante para el mundo; Cada vez se busca disminuir las emisiones de CO₂ mediante tratados internacionales como el Protocolo de Kyoto, aprobado en 1997 y ratificado por 156 países el cual establece el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero¹ asignando responsabilidades a los grandes generadores de contaminación en el mundo.

El consumo energético en Colombia ha aumentado considerablemente a través del tiempo, por lo tanto cada día se hace más necesario la adaptación de nuevas formas de producción energética como por ejemplo las energías renovables. Según la proyección hecha por la unidad de planeación minero energética UPME se estima que para el año 2017 la demanda de energía eléctrica llegará a 5900 GWh² esto propone un gran reto para los ingenieros e investigadores para suplir las necesidades energéticas de la nación de forma responsable. La industria que genera emisiones de gases residuales a la atmósfera generalmente no aprovecha el potencial calorífico de los vapores que extraen las chimeneas. De esta forma se hace necesaria la investigación, el trabajo y el desarrollo de nuevos proyectos y tecnologías que permitan la generación de energía limpia, mediante el aprovechamiento de los recursos disponibles, por ejemplo los gases de chimenea mitigando así, la principal problemática que afronta el planeta como lo es el calentamiento global.

0. INTRODUCCIÓN

¹ <http://www.carbonradewatch.org/carbon-connection-es/que-es-el-protocolo-de-kyoto.html>
Fecha de consulta: 19 de febrero de 2017

² PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y POTENCIA MÁXIMA EN COLOMBIA, Ministerio de Minas y Energía y Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, Octubre 2016.

Un método para la generación de energía alternativa es el Ciclo Rankine Orgánico (ORC en adelante), donde la configuración de este sistema como parte de una cogeneración produce un aprovechamiento del calor presente en los gases residuales de procesos industriales para generación eléctrica.

En este proyecto se desarrollará paso por paso una propuesta de diseño para una planta de energía eléctrica basado en el ORC, donde inicialmente se estudiará y seleccionará la fuente energética del primer elemento del ciclo, el evaporador. A continuación se realizará la selección del fluido de trabajo, para después efectuar los respectivos cálculos y diseño de cada componente del ORC, como lo son: el evaporador, la turbina de expansión, el intercambiador de calor intermedio (después de la turbina y antes del evaporador), el condensador (diseñado también como un intercambiador de calor), el tanque acumulador, y por último, la bomba hidráulica, la cual solamente se seleccionará mediante catálogos existentes.

Para el final del proyecto se llevará a cabo un breve estudio presupuestal con el fin de dar una aproximación del costo de la construcción del proyecto, esto como incentivo de un proyecto a futuro.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El constante aumento en el consumo mundial de energía demanda gran atención a la forma de producción de esta y sus efectos, de la misma forma a la generación de nuevas alternativas. El aprovechamiento de las diferentes fuentes de energías renovables apunta a ser la solución de producción limpia. Una fuente de energía que generalmente es ignorada, es el calor con el que son emitidos los gases y vapores de procesos industriales existentes ya que contienen alto poder calorífico, pueden hacer parte de una generación de energía renovable mediante procesos térmicos.

1.1 ESTADO DEL ARTE

Aunque la tecnología basada en ORC es bastante reciente, existen varios estudios realizados en esta materia, los cuales datan de las últimas dos décadas. Los países industrializados fueron los primeros en experimentar con fluidos orgánicos para la generación eléctrica; actualmente es una materia en constante cambio, puesto que son más las investigaciones y experimentos con nuevos fluidos que ayudan a mejorar la eficiencia de las plantas de ORC. Latinoamérica es neófita en la materia, puesto que existen muy pocos proyectos en marcha de producción de energía mediante ORC.

Los países que más han investigado en el tema, basados en la cantidad de publicaciones, según las gráficas de seguimiento obtenidas de la base de datos Scopus, son Alemania, USA, Italia, Irán y China, quienes están liderando estas investigaciones.

Otra empresa creada en el 2009 en Italia, es Exergy, por una asociación de ingenieros mecánicos, junto con el Gruppo Industriale Macaferri, y se especializa en la construcción de plantas para la producción de energía renovable, geotérmica, solar, eólica y por supuesto plantas de ORC.

Comentado [CIBP1]: Primero siemens en 2013 y luego exergy en 2009????? No será más bien al revés???

Producto de estas investigaciones, se han constituido industrias que realizan plantas de ORC de gran generación de potencia. Ejemplo de esto es la multinacional SIEMENS, que fue la primera empresa en utilizar ORC en el 2013 y que construyó una planta capaz de generar entre 300 kW a 2 MW de potencia, el ORC – Module.

Comentado [CIBP2]: Sería bueno una imagen

La multinacional europea llamada Turbodent es una empresa que diseña y construye plantas de ORC a nivel mundial, fundada en 1980 en Milán por el profesor Mario Gaia, profesor de Energía en el Politécnico de Milán y hoy director de Turbodent. En el 2013 se genera una alianza estratégica con la multinacional Mitsubishi Heavy Industries.

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

En Alemania se han desarrollado estudios interesantes acerca del modelo dinámico y el control óptimo de una planta pequeña de ORC utilizando como fluido de trabajo refrigerante R245fa, allí se hacen los respectivos diseños del elemento evaporador mediante volúmenes finitos y logran caracterizar el proceso mejorando la eficiencia total del ciclo, este artículo se llama "*Dynamic modeling and optimal control strategy of waste heat recover Organic Rankine Cycles*" y es llevado a cabo por los investigadores Sylvain Quoilin, Richard Aumann, Andreas Grill, Andreas Schuster, Vincent Lemort, Hartmut Spliethoff.

PROYECTOS DE INVESTIGACION DE ORC EN COLOMBIA

La investigación en Colombia acerca de la generación de energía mediante ORC es muy limitada, ya que el apoyo de las instituciones en esta materia no cumple a cabalidad su papel de incentivar y financiar proyectos de diferente índole para la generación de energía.

En la escuela de ingeniería de Antioquia se realizó un estudio de factibilidad para la implementación de un ORC en pozos de extracción de petróleo ubicados en los llanos orientales de Colombia, donde estudiaron el agua que se generaba como subproducto durante la extracción del crudo, ya que esta salía entre 118 °C y 82 °C con caudales de hasta 2,38 m³/s; como conclusión se encontró que un equipo comercial de ORC de 280 kW produciría en uno de los campos 1165,1 Mwh anuales con un costo de generación de 0.102 US\$/kWh, los resultados de la implementación de equipos ORC fueron negativos ya que se necesita temperaturas más altas en el agua generada para garantizar la factibilidad técnica.

Comentado [CIBP3]: Insertar referencia como nota al pie

En una investigación conjunta entre las universidades de Oviedo en España, la Universidad Nacional de Medellín y la Universidad de Antioquia, se realizó un estudio acerca de la implementación de un ORC en la cementera Porlant, cuyo resultado fue que el 19.2% de el calor desechado en las chimeneas puede ser aprovechado generando unos 5,5GWh/año en energía eléctrica y 23,7 GWh/año de energía térmica.

PLANTA MEXICANA

Como referencia más cercana tenemos el caso de la empresa RAIPP empresa de San Luis Potosí, México, con experiencia en construcción de calderas quien propuso un proyecto a SIATEC, una empresa estatal mexicana, planteando un aprovechamiento de gases residuales de chimenea para generación eléctrica, generando como solución un prototipo de ORC. El equipo simuló los gases de chimenea construyendo un evaporador que funciona a 220°C el cual calienta un refrigerante y se expande en una turbina para generar energía eléctrica, para luego condensar el fluido de trabajo y llevarlo nuevamente al evaporador mediante una bomba hidráulica. Este equipo se constituyó como el primer equipo de ORC en México, generando así el punto de partida del desarrollo de esta tecnología en ese país.

Comentado [CIBP4]: Que es siatec

1.2 JUSTIFICACIÓN

En Colombia existe la ley 1715 de 2014, la cual regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, la cual busca incentivar procesos que incluyan generación de energía mediante alternativas limpias en industrias, instituciones y comunidades.

Las industrias obligadas a declarar renta que implementen proyectos que involucren energías renovables tendrán derecho a reducir su declaración el 50% del valor total de la inversión realizada.

La importación de maquinaria, equipo o servicios adicionales que se destinen a la inversión en energías renovables estará exento de impuesto de IVA.

A nivel mundial el desarrollo de plantas de ORC está en auge y está llamando la atención de las más grandes multinacionales para financiar proyectos de energía a nivel mundial.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el diseño de un sistema de aprovechamiento de energía en forma de calor residual industrial, para la producción eléctrica en Colombia, basados en un Ciclo Rankine Orgánico para una potencia mínima de 10 kW.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar el fluido de trabajo óptimo para el ORC.
- Determinar el rango de temperatura para la fuente de calor obteniendo el valor de producción establecido.
- Definir las características de los componentes del sistema (evaporador, turbina, condensador, bomba) para un funcionamiento óptimo.
- Realizar modelado esquemático de los componentes del sistema.
- Establecer la mejor configuración del sistema ORC y sus componentes.
- Elaborar un artículo científico con proyección de futura publicación en revista indexada.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Ciclo Rankine

El ciclo Rankine es el ciclo ideal para las centrales eléctricas de vapor, ideal porque se asume que el vapor (vapor de agua, ya que este es el fluido de trabajo en este ciclo) es sobrecalentado en la caldera (proceso 2-3) y completamente condensado en el condensador (proceso 4-1), como puede verse en la figura ## b. Este ciclo en su forma simple consta de cuatro componentes: la caldera o evaporador, donde el fluido de trabajo cambia de un estado líquido a un estado gaseoso y adquiere la mayor temperatura de todo el ciclo; la turbina, donde la energía del fluido es aprovechada y mediante el generador es convertida en energía eléctrica; el condensador, donde el fluido cambia de un estado gaseoso o de vapor a un estado líquido, y adquiere la temperatura más baja del ciclo; y por último la bomba donde sube la presión de dicho fluido de trabajo para ser dirigido a la caldera nuevamente. Fig. 1a.

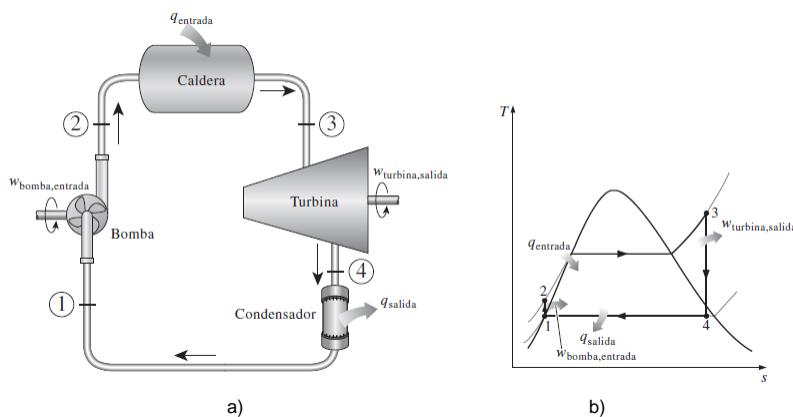


Fig. 1. Esquema general y diagrama T-s Ciclo Rankine Ideal

Fuente: Cengel, Yunus. Boles, Michael. Termodinámica. 7ª Edición. Mc Graw Hill, 2012. Pág. 561.

Este ciclo consta de cuatro procesos:

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

3.1.1 Evaporador

El evaporador es un elemento intercambiador de calor donde la fuente de calor suministra energía al fluido de trabajo. Este componente es considerado el más importante del ciclo puesto que de él, depende la eficiencia del ciclo. El fluido ingresa en el evaporador en estado líquido y sale en estado de vapor saturado o sobrecalentado.

En la figura 2 se representa el evaporador de un Ciclo Rankine Orgánico como un intercambiador de calor que aprovecha el calor residual obtenido de un motor de combustión interna.

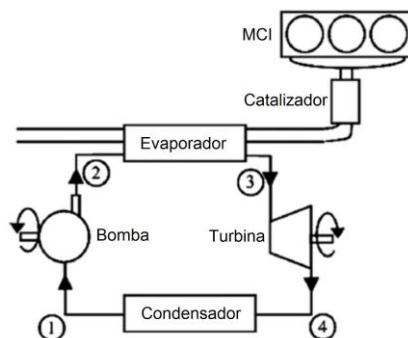


Fig. 2. Ciclo Rankine Orgánico para un motor de combustión interna.

Fuente: Vilela Sevillano, Alberto Longobardo. Diseño energético del evaporador de un Ciclo Rankine Orgánico utilizando el refrigerante R123 para el aprovechamiento de los gases de combustión de un motor a gas natural de 3000 KW. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Mayo de 2015.

3.1.2 Turbina

En este componente el fluido ingresa en forma de vapor o gas (bien sea saturado o sobrecalentado), donde la energía del flujo de vapor es transformada en energía mecánica y posteriormente mediante un generador en energía eléctrica. El estado del fluido a la salida de la turbina puede ser vapor húmedo, vapor saturado o vapor sobrecalentado.

En la figura 3 se muestra una turbina de vapor Siemens, modelo SST-700 de las plantas termo solares de la compañía Abengoa, que tienen una producción de aproximadamente 650 MW.



Fig. 3. Turbina de vapor de Siemens.

Fuente: <http://www.energias-renovables.com/termosolar/abengoa-siemens-turbina-vapor-termosolar>
Fecha de consulta: 14 de enero de 2017

3.1.3 Condensador

El vapor que sale del elemento turbina debe pasar a través del condensador antes de entrar en la bomba, este no es más que un intercambiador de calor cuyo fluido de refrigeración generalmente es agua. Su objetivo es extraer el calor del fluido de trabajo del ciclo provocando así un cambio de estado a líquido saturado o líquido su enfriado. Este calor puede ser aprovechado en otro proceso industrial o puede ser cedido al ambiente mediante una torre de refrigeración.

En la figura 4 se muestra un condensador enfriado por aire a temperatura ambiente para sistema de refrigeración industrial con R22.



Fig. 4. Condensador sistema de refrigeración industrial con R22.

Fuente: <http://reaaestudiantil.mex.tl/>

Fecha de consulta: 14 de enero de 2017

3.2 Ciclo Rankine Orgánico (ORC)

Este ciclo difiere del ciclo Rankine simple solamente en su fluido de trabajo, este fluido generalmente puede ser un alcohol, un refrigerante, o un compuesto de refrigerantes, de alcoholes o ambos. Este fluido de trabajo se llama orgánico porque suele ser un compuesto químico con cadenas de hidrocarburos, como por ejemplo el butano. El uso de este tipo de fluido trae consigo la disminución del rango de temperatura en el ciclo, adicional a esto es necesario seleccionar un fluido que cumpla con los siguientes requerimientos:

- bajo punto de congelación, fuera del rango de temperatura del ciclo.
- Estabilidad a altas temperaturas
- Bajo impacto ambiental: que no sea tóxico, corrosivo o inflamable.

3.3 Fluido de trabajo

Como ya se ha mencionado el fluido de trabajo es un fluido orgánico, pero a su vez existen tres tipos de fluidos orgánicos diferenciados entre sí por la forma de la campana en un diagrama T-s como se indica en la figura 5.

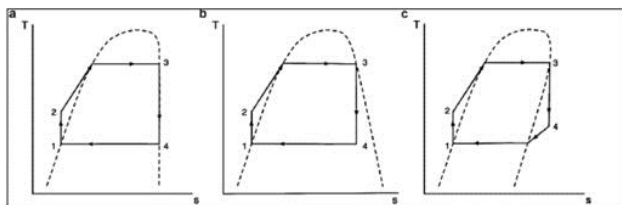


Fig. 5. Comparación en diagramas T-s para fluidos: a) Isoentrópicos, b) húmedos, c) secos.

Fuente: <https://grebus.wordpress.com/2015/09/17/el-ciclo-de-rankine-organico-y-sus-aplicaciones-en-la-recuperacion-de-calor/>

Fecha de consulta: 15 de enero de 2017

De esta forma en la siguiente imagen (fig. 6) puede observarse el respectivo diagrama T-s para 9 posibles fluidos orgánicos útiles para el ciclo, el R113, R11, R123, R114, R141b, R245ca, R245fa, R236ea, y butano. Para estos, la mayor temperatura, es decir la temperatura del punto crítico es aproximadamente 480 K, la cual es mucho menor a la temperatura del punto crítico del agua que es aproximadamente 650 K.

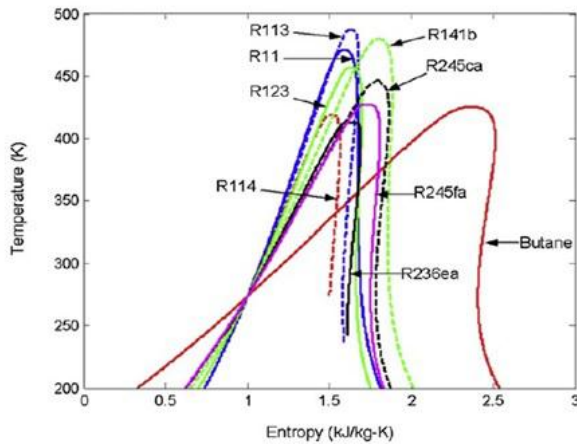


Fig. 6. Diagrama T-s para distintos fluidos orgánicos.

Fuente: <https://grebus.wordpress.com/2015/09/17/el-ciclo-de-rankine-organico-y-sus-aplicaciones-en-la-recuperacion-de-calor/>

Fecha de consulta: 15 de enero de 2017

De esta forma es necesaria la dedicación de un tiempo adecuado para la correcta selección del fluido, ya que de esta decisión se define si el ciclo es funcional o no.

3.4 Análisis de energía del ciclo Rankine³

Debido a que los cambios en la energía cinética y potencial del vapor son pequeños, en relación con el trabajo y la transferencia de calor, dichas energías resultan insignificantes. Por ende la ecuación de energía por unidad de masa de vapor es:

$$[1] \quad (q_{entrada} - q_{salida}) + (w_{entrada} - w_{salida}) = h_s - h_e \quad (kJ/kg)$$

Dado que tanto la caldera como el condensador no incluyen ningún trabajo, y que se asume que la turbina y la bomba son isentrópicas, entonces la relación de conservación de la energía para cada dispositivo puede expresarse como:

Bomba ($q = 0$)

$$[2] \quad w_{entrada\ bomba} = h_2 - h_1$$

Ó también,

$$[3] \quad w_{entrada\ bomba} = v (P_2 - P_1)$$

Caldera ($w = 0$)

$$[4] \quad q_e = h_3 - h_2$$

Turbina ($q = 0$)

$$[5] \quad w_{salida\ turbina} = h_3 - h_4$$

³ Cengel, Yunus. Boles, Michael A. Termodinámica. 7ª Edición. Mc Graw Hill, 2012.

Condensador ($w = 0$)

$$[6] \quad q_{salida} = h_4 - h_1$$

La eficiencia térmica del ciclo se determina por:

$$[7] \quad \eta_{ter} = \frac{w_{turbina}}{q_{entrada}} = 1 - \frac{q_{salida}}{q_{entrada}}$$

Donde:

$$[8] \quad w_{neto} = q_{entrada} - q_{salida} = w_{salida\ turbina} - w_{entrada\ bomba}$$

Debido a que existen irreversibilidades tanto en la bomba como en la turbina, la bomba requiere un trabajo de entrada mayor y la turbina produce un trabajo de salida menor, la figura 7 representa a) la desviación del ciclo real respecto del ciclo ideal y b) el efecto de las irreversibilidades en el ciclo ideal.

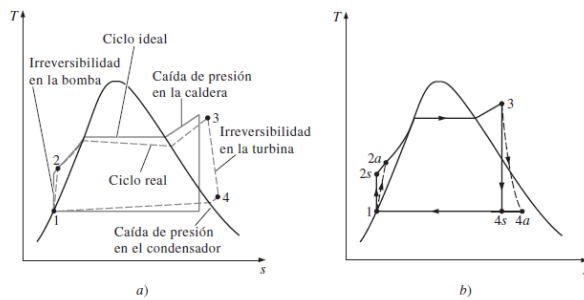


Fig. 7. Desviación del ciclo real respecto del ideal. b) efecto de las irreversibilidades en el ciclo ideal.
Fuente: Cengel, Yunus. Boles, Michael. Termodinámica. 7ª Edición. Mc Graw Hill, 2012. Pág. 566.

De esta forma dicha desviación puede ser tenida en cuenta usando eficiencias isentrópicas definidas como:

$$[9] \quad \eta_b = \frac{w_s}{w_a} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1}$$

$$[10] \quad \eta_T = \frac{w_a}{w_s} = \frac{h_3 - h_{4a}}{h_3 - h_{4s}}$$

Donde los estados 2a y 4a son los estados reales de salida de la bomba y de la turbina, respectivamente, mientras que 2s y 4s son los estados correspondientes para el caso isentrópico.

4. METODOLOGÍA

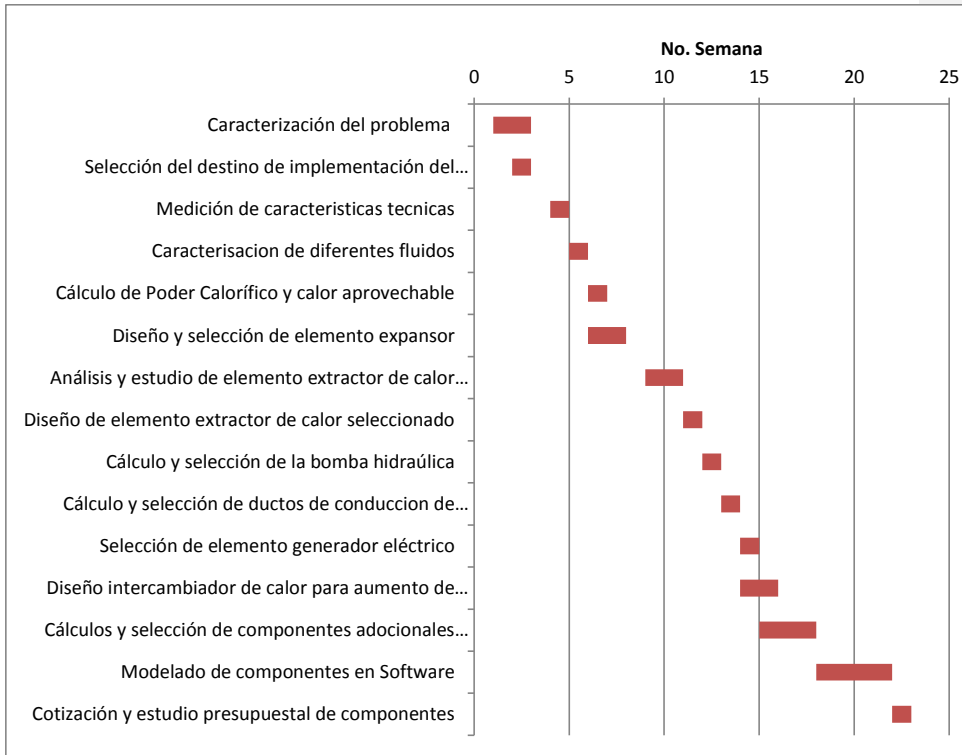
5. CRONOGRAMA

En el siguiente cronograma se muestra la duración en semanas de la ejecución y presentación del proyecto de grado de una manera ordenada y destinada a cumplir los objetivos propuestos en un tiempo programado.

Actividades	Duración en Semanas
1. Definición de la Fuente Energética para el evaporador	3
1.1 Caracterización del problema	
1.2 Selección del destino de implementación del proyecto	
2. Adquisición de datos técnicos de entrada	2
2.1 Medición de características técnicas	
3. Selección del Fluido de Trabajo	2
3.1 Caracterización de diferentes fluidos	
4. Fase de Diseño	12
4.1 Cálculo de Poder Calorífico y calor aprovechable	
4.2 Diseño y selección de elemento expansor	
4.3 Análisis y estudio de elemento extractor de calor (condensador)	
4.3.1 Diseño de elemento extractor de calor seleccionado	
4.4 Cálculo y selección de la bomba hidráulica	
4.5 Cálculo y selección de ductos de conducción de fluido de trabajo	
4.6 Selección de elemento generador eléctrico	
4.7 Diseño intercambiador de calor para aumento de eficiencia del evaporador	
4.8 Cálculos y selección de componentes adicionales (Válvulas By pass, filtros, tanques almacenamiento)	
5. Presentación de Diseño final	4
5.1 Modelado de componentes en Software	
6. Cotización y estudio presupuestal de componentes	1
Total Semanas	24

Tabla 1. Cronograma de actividades

5.1 DIAGRAMA DE GANNT



6. FUENTES DE FINANCIACIÓN Y PRESUPUESTO

El presente proyecto involucra solamente la fase de diseño del sistema, por supuesto no se limita para la posible construcción en un futuro, por esta razón no se requiere de mayores fondos o financiación de la Universidad Distrital o terceros. Adicionalmente cabe resaltar que se ha incluido dentro de las actividades a seguir un análisis presupuestal del valor aproximado que puede conllevar la construcción del proyecto.

7. BIBLIOGRAFÍA

CONTENIDO Y PRESENTACIÓN DEL DOCUMENTO DE PROYECTO DE GRADO [\[1\]](#)

Tabla de Contenido

Índice de Figuras

Índice de Tablas

Resumen: aspectos más sobresalientes en torno al problema

0. Introducción

1. Planteamiento del problema: descripción del problema, las variables o aspectos que intervienen, las relaciones entre ellos y los argumentos que justifican estas relaciones.

1.1. Estado del Arte: síntesis de la revisión documental de bases bibliográficas especializadas sobre como otros han atacado el problema, debidamente referenciado.

1.2. Justificación: descripción de las razones económicas, tecnológicas, académicas, sociales, ambientales, humanas, etc. Que justifican la realización del proyecto.

2. Objetivos: formulación de un objetivo general (acorde al título) y de 4 a 5 objetivos específicos que deben desarrollarse para cumplir el objetivo general.

2.1. Objetivo general

2.2. Objetivos específicos

3. Marco Teórico: revisión de los conceptos más importantes que requiere el desarrollo del proyecto, debidamente referenciado.

4. Metodología: redacción de la secuencia de actividades propias de cada objetivo para obtener la solución.

5. Cronograma: diagrama de Gantt donde se relacionan los tiempos en semanas de cada una de las actividades.
6. Presupuesto y fuentes de financiación (Incluir presupuesto general y presupuestos específicos): tabla con valores unitarios de los insumos que requiere el proyecto, indicando las fuentes de financiación.
7. Bibliografía: relación de la bibliografía referenciada y consultada en la elaboración de la propuesta.

En caso de proyectos de pasantías [2], adicionar los siguientes ítems:

8. Perfil del estudiante requerido
9. Funciones a desarrollar por el estudiante
10. Competencias que debe tener el estudiante (por ejemplo: manejo del inglés, software especializado, etc.)

[1] El documento deberá presentarse con caratula transparente.

[2] Los proyectos de grado de pasantías deberán acompañarse de una carta de la empresa en papel membrete, firmada por el superior inmediato del ingeniero asignado como tutor externo.