



BioGen ER
Generación Limpia

PROYECTO FINAL

TEMA: “PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE 4,5 MW A PARTIR DE BIOMASA FORESTAL “



AUTOR: KLOSTER, DANIEL ALEJANDRO
CARRERA: INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROFESOR:
ING. SCHATTENHOFER, FEDERICO ARNOLDO

2021

TUTORES:
CR. ALVAREZ, CARLOS ARTURO
ING. BASGALL, LUIS AGUSTÍN
ING. FORNILLO, OCTAVIO JAVIER

UTN Concordia
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Concordia

Resumen

Actualmente gran parte del mundo se encuentra preocupado por el comportamiento del medio ambiente.

La aprobación de nuevas leyes y el surgimiento de nuevos proyectos que promuevan la incorporación de las energías renovables, como fuente alternativa a los combustibles fósiles en la generación de energía, son las acciones que están tomando los diversos países del mundo para contribuir con la incorporación de dichas fuentes a la matriz energética.

En Argentina, la producción de energía eléctrica, es realizada en poco más del 60% a partir de energías —” sucias”, es decir, combustibles fósiles, que al ser quemados para extraer su energía emiten dióxido de carbono a la atmósfera, siendo el sector energético el que más contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero.

La provincia de Entre Ríos, se encuentra dentro de las provincias de mayor superficie forestal (plantaciones de Eucalipto y Pino), después de Misiones y Corrientes.

Todo lo mencionado anteriormente, condujo al desarrollo de este proyecto que busca dar una solución al sector foresto – industrial al analizar la factibilidad de construir una planta generadora de energía eléctrica a partir de biomasa, que aproveche la energía contenida en los chips de madera, en la provincia de Entre Ríos, y el planteo de diversos escenarios.

La tecnología propuesta funciona de la misma manera que las centrales térmicas convencionales, donde se aprovecha la energía del fluido de trabajo mediante un ciclo de vapor Rankine, para hacer girar una turbina que, conectada solidariamente a un generador eléctrico, genere energía eléctrica.

Palabras Claves: Generación energía eléctrica, energía renovable, biomasa forestal, chips de madera.

Índice

1. Introducción	4
2. Antecedentes.....	6
2.1. Primeros impulsos internacionales a las energías renovables.....	6
2.2. Situación energética actual del país	8
2.3. Situación en Entre Ríos.....	9
3. Análisis y formulación del problema.....	12
4. Solución Propuesta.....	13
5. Marco Teórico	14
6. Descripción del proyecto	20
6.1. Denominación del proyecto	20
6.1.1. Alcances y Límites.....	20
6.1.2. Localización de la Planta	20
6.1.3. Origen de la biomasa utilizada en el proyecto	22
6.2. Descripción de la planta.....	23
6.2.1. Principio de Funcionamiento de la Central.....	23
6.2.2. Demanda de Combustible (Chips de Madera)	25
6.2.3. Generación y Distribución	25
6.2.4. Condiciones de suministro de potencia y energía eléctrica.....	27
6.2.5. Condiciones de suministro de Biomasa Combustible.....	27
6.3. Descripción de Actividades	27
6.3.1. Construcción y puesta en marcha de la central de Generación.....	28
6.3.2. Plazo de Construcción.....	28
7. Aspecto social, ambiental y legal del proyecto.....	30
7.1. Aspecto Ambiental.....	31
7.2. Aspecto Social	32
7.3. Aspecto Legal	33
8. Análisis Económico y Financiero.....	41
9. Plan de Marketing.....	44
9.1. Misión, Visión y Valores	44
9.1.1. Misión	44
9.1.2. Visión.....	44
9.1.3. Valores	44
9.1.4. Objetivos	44
9.2. Estudio de Mercado	45

DANIEL KLOSTER – INGENIERÍA INDUSTRIAL

9.2.1.	Situación de la Biomasa en Argentina	45
9.2.2.	Situación de la Biomasa en Entre Ríos	49
9.2.3.	Barreras de bioenergía:	49
9.3.	Segmentación	50
9.4.	Diferenciación.....	50
9.5.	Posicionamiento.....	50
9.6.	Comunicación	51
9.7.	Análisis FODA del Sector.....	52
10.	Conclusión	55
11.	Bibliografía	56

1. Introducción

Actualmente gran parte del mundo se encuentra preocupado por el comportamiento del medio ambiente.

La contaminación del aire fue elegida por las Naciones Unidas como el problema central para celebrar el “Día Mundial del Medio Ambiente”, ya que causa unas siete millones de muertes, problemas de salud, como el asma, y frena el desarrollo cognitivo de los niños.

Las Naciones Unidas buscan que los gobiernos tomen conciencia de soluciones a este problema global impulsando las energías renovables y las tecnologías sostenibles.

De acuerdo a los datos oficiales, cuatro millones de esas muertes ocurren en la región de Asia y el Pacífico.

Haciendo alusión a este tema, es que Antonio Guterres Secretario General de la ONU dirigiéndose a los mandatarios de todo el mundo expreso:

(UADER, 2019) *“La aprobación de nuevas leyes y el surgimiento de nuevos proyectos que promuevan la incorporación de las energías renovables como fuente alternativa a los combustibles fósiles, en la generación de energía, son las acciones que están tomando los diversos países del mundo para contribuir con la incorporación de dichas fuentes a la matriz energética”.*

En Argentina, la producción de energía eléctrica, es realizada en poco más del 60% a partir de energías —”sucias”, es decir, combustibles fósiles que al ser quemados para extraer su energía emiten dióxido de carbono a la atmósfera, siendo el sector energético el que más contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI): un 53%, según datos del último inventario elaborado por la Dirección Nacional de Cambio Climático. Estos combustibles presentan dos particularidades, por un lado, la contaminación que produce la combustión de los mismos y por

otro lado su carácter no renovable, lo que genera la necesidad de buscar energías alternativas.

Se entiende por biomasa a cualquier materia orgánica derivada de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético. La energía de la biomasa es obtenida de diversas fuentes naturales tales como cultivos energéticos o residuos agrícolas, forestales, foresto industriales y también de aguas residuales urbanas.

La provincia de Entre Ríos, se encuentra dentro de las provincias de mayor superficie forestal (plantaciones de Eucaliptus y Pino), después de Misiones y Corrientes, esto hace de la misma una ubicación estratégica para el desarrollo de un proyecto generación de energía a partir de biomasa forestal.

A lo largo de la cadena de producción forestal se generan residuos, que si no reciben un manejo adecuado originan grandes problemas de contaminación para las comunidades.

En este marco, surge el desarrollo de este proyecto que busca la construcción de una planta generadora de energía eléctrica de 4,5 MW a partir de biomasa forestal en la Parque industrial de Concordia, y el planteo de diversos escenarios.

El mismo espera dar una solución al sector foresto – industrial, en lo que respecta a la gestión de los residuos que genere, dándoles destino, al mismo tiempo que se contribuye y se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) “Energía Asequible y no Contaminante”, impulsada por la Organización de las Naciones Unidas, dentro de la Agenda 2030.

La idea - proyecto surge en la cátedra Proyecto Final como una solución a una problemática actual.

2. Antecedentes

La biomasa ha sido el primer combustible empleado por el hombre y el principal hasta la revolución industrial. Se utilizaba para cocinar, para calentar el hogar, para hacer cerámica y, posteriormente, para producir metales y para alimentar las máquinas de vapor. La creciente demanda de energía requerida para los usos anteriormente mencionados obligó la utilización del carbón como combustible sustituto, a mediados del siglo XVIII. Desde ese momento se empezaron a utilizar otras fuentes energéticas más intensivas (poder calorífico mayor), y el uso de la biomasa disminuyó. Uno de los factores principales que conllevó a esta disminución, fue el bajo costo que tenían los derivados del petróleo en comparación con la misma. A pesar de esto, la biomasa aún es considerada importante como fuente energética en diferentes aplicaciones industriales y domésticas. También su carácter renovable y no contaminante, hacen atractivo su uso.

2.1. Primeros impulsos internacionales a las energías renovables.

La preocupación mundial sobre las fuentes alternativas de energía surge principalmente a partir de los años setenta como resultado de la crisis del petróleo que conllevó a un incremento significativo en el precio del mismo y sus derivados, fue en ese contexto que los países comenzaron a desarrollar fuentes alternativas.

No solo los países optaron por el desarrollo de nuevas fuentes, sino que también comenzaron a preocuparse por el desarrollo sostenible y mitigar el cambio climático. Esta situación llevó a que los países orienten sus esfuerzos a avanzar sobre iniciativas en apoyo al fomento de las fuentes de energías renovables.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), define el desarrollo sostenible como:” la

satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

El desarrollo sostenible trata de lograr de manera equilibrada, el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente. Asimismo, se denomina Cambio Climático a un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera aumentando la temperatura promedio del planeta.

La respuesta política de la comunidad internacional al cambio climático se concretó en 1994 con la adopción de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Un logro muy importante de la Convención fue reconocer que el problema del cambio climático es real. Uno de los principales objetivos fue la estabilización y mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera.

En el año 1997, se firmó el Protocolo de Kyoto (PK). Dicho protocolo establecía metas vinculantes de reducción de las emisiones para 37 países industrializados y la Unión Europea, reconociendo que son los principales responsables de los niveles elevados de emisiones de GEI que hay actualmente en la atmósfera.

El Protocolo sirvió como base de motivación a los gobiernos para establecer leyes y políticas para cumplir sus compromisos y a las empresas a tener el medio ambiente en cuenta a la hora de tomar decisiones sobre sus inversiones.

El principal objetivo del acuerdo, es mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático.

Dicho lo anterior, se da comienzo al tema en estudio del proyecto, es decir, a los residuos forestales y para ello citaremos un fragmento de La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en relación al aprovechamiento de un árbol, según la FAO, se considera que, de cada árbol extraído para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20%. Se estima que un 40% es dejado en el campo, en las ramas, despunte y raíces, otro 40% no aprovechado en la industria de la madera en forma de costaneros, astillas (chips), corteza y aserrín.

La generación de energía eléctrica a partir de biomasa forestal debe realizarse en las cercanías de donde se encuentran los residuos forestales, ya que, su transporte implicaría un costo elevado de no ser así y desde el punto de vista ambiental, sería contaminante.

Para la generación de energía eléctrica a partir de biomasa se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Situación energética actual del país.
2. Disponibilidad de combustibles biomásicos.
3. Disponibilidad de tecnología apta para el tipo de aprovechamiento.

2.2. Situación energética actual del país

Argentina cuenta con recursos energéticos tanto renovables, como no renovables importantes.

Algunos de los impulsos para el desarrollo de energía en el país, a partir de fuentes alternativas, fueron las leyes promulgadas y los programas de financiamiento de proyectos de esta índole.

Anteriormente, del total del rollizo, el 50% del mismo era el que se procesaba. Si a los desperdicios resultantes del proceso de aserrado, no se les daba un destino representaban un potencial peligro para las instalaciones de los aserraderos, ya que podían provocar

incendios o incluso, estos establecimientos queriendo deshacerse de ellos los quemaban y eso desembocaba también en incendios. Por esta razón, se prohibió la quema de los residuos para eliminar esta problemática. A raíz de esto, las industrias transformadoras de madera, comenzaron a buscar destino para los residuos de este proceso, generándose una demanda creciente para reprocesar los mismos con la instalación de industrias de tablero y celulosa en la zona.

Desde el año 2016 el Gobierno Nacional ha impulsado distintas convocatorias públicas para adjudicar contratos de abastecimiento de energía eléctrica de fuentes de generación renovables, a través del Programa RenovAr, que logró en conjunto con la Ley 27.191 que, a su vez, modifica a la Ley 26.190, un fuerte impulso al desarrollo de una matriz energética con mayor participación de las energías renovables, principalmente solar y eólica.

Actualmente, en la Argentina, los residuos de aprovechamiento forestal poseen una baja tasa de utilización en la industria. En este contexto, es necesario estudiar la viabilidad económica de la generación por biomasa a partir de los mismos.

2.3. Situación en Entre Ríos

La industria forestal, se encuentra en importante crecimiento. La provincia de Entre Ríos, destina a bosques comerciales 118.145 hectáreas, en su mayor parte en los departamentos de la ribera del río Uruguay y en la zona del Delta del Río Paraná. Más del 60 % de la superficie de plantaciones forestales corresponde a grandes industrias, mientras que la superficie implantada correspondiente a propietarios medianos y pequeños, es de aproximadamente el 35 %.

En toda la región del Noreste Argentino se hallan aproximadamente 145 mil ha de eucaliptus, de madera semidura, la cual es de rápido crecimiento.

De acuerdo al Censo de Aserraderos llevado a cabo en el año 2015 por el Ministerio de Agroindustria de la Nación en la provincia de Entre Ríos, a 179 aserraderos, se estimó un

consumo anual de $2.134.253 \text{ m}^3$ con una producción de 781.875 m^3 , dando como resultado un rendimiento promedio del 37 %.

En cuanto a la distribución demográfica de los aserraderos, su mayor concentración se ubica en los departamentos de Concordia, con un total de 63 establecimientos y Federación, con un total de 71 establecimientos. Los mismos consumen un 86,5% aproximadamente de Eucalyptus como materia prima, proveniente en un 75% de la provincia de Entre Ríos y el restante de la provincia de Corrientes, con algunas diferencias marcadas entre departamentos según las distancias y especie que utilizan.

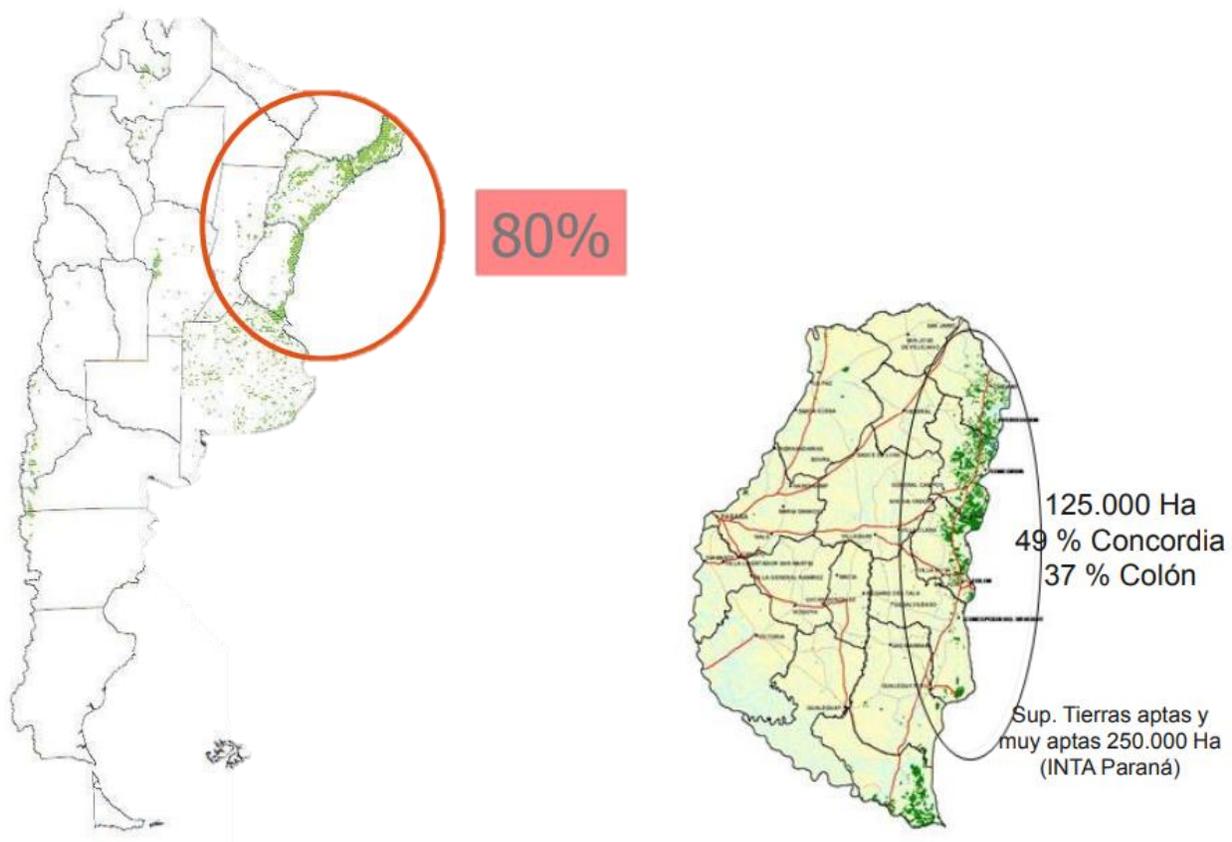


Figura 1: Distribución de zonas forestadas en Entre Ríos.

Se puede apreciar en la ilustración la distribución de zonas forestadas en Entre Ríos, al margen de la costa del Río Uruguay y las superficies en hectáreas de los principales departamentos forestados.

Por lo tanto, la instalación de la misma dentro de la provincia, no solamente permitirá atender la necesidad del mercado interno, sino que también posibilitará la interacción con las zonas aledañas.

3. Análisis y formulación del problema

Se plantea la necesidad de mejorar el sistema de gestión y tratado de los residuos foresto – industriales de la zona, contribuyendo y alineándose a los nuevos desafíos que se plantean los países con respecto a la generación de energía mediante fuentes alternativas, debido a la creciente preocupación por el cuidado del ambiente, que se refleja en leyes y normativas regulatorias más estrictas, requiriéndose desarrollar soluciones que permitan aumentar la participación de la energía proveniente de fuentes renovables en la matriz energética del país.

Para la definición del problema se procedió al relevamiento de información de fuentes primarias y fuentes secundarias, como por ejemplo reuniones con expertos en el tema, lo cual permitió tener un panorama más preciso de donde se encuentra, hacia donde se dirige el proyecto y cuáles son los puntos donde se deberá hacer hincapié con el fin de cumplir con el objetivo. Mediante dicho relevamiento se pudo validar que actualmente hay una oferta mayor que la demanda de estos residuos, a pesar de tener un competidor directo en la zona, siendo una problemática real en este tipo de industrias, el destino de los residuos que generan. Es así que el proyecto surge como una solución, no solo al sector foresto – industrial, sino también al energético contribuyendo con la transformación de la matriz energética, según lo estipulado por la Ley 27.191 “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica” y el objetivo de desarrollo sostenible 7 “Energía Asequible y no Contaminante” de la Agenda 2030, aprobado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en el año 2015.

Cabe destacar que el sector foresto – industrial en la provincia, viene teniendo crecimiento significativo en los últimos años, lo que requiere la búsqueda de soluciones para el manejo de los residuos que genera.

4. Solución Propuesta

La solución adoptada por el proyecto, en función de lo expresado anteriormente es la instalación de una central de generación de energía eléctrica de 4,5 MW a partir de biomasa forestal (principalmente chips de madera de eucaliptus), dándole destino a los residuos que actualmente generan una problemática al sector foresto – industrial y contribuyendo al cumplimiento de los porcentajes de energía renovable estipulados por ley, con el propósito de reducir el impacto ambiental, mediante el aprovechamiento de los mismos.

5. Marco Teórico

En todo proyecto es necesario introducir conceptos previos que sustenten lo desarrollado a lo largo del mismo. Por esta razón este apartado se realiza con la finalidad de que el lector incorpore los conceptos más importantes que serán mencionados en el proyecto y de esa forma pueda comprender de mejor manera su desarrollo.

La metodología utilizada, será comenzar de los conceptos más generales y desembocar en los más específicos. Es así que el primer interrogante que surge o el primer concepto que se desarrollará hace alusión a qué es una energía renovable.

¿Qué son las Energías Renovables?

Se entiende por energía renovable a la energía producida y/o derivada de fuentes que se renuevan ilimitadamente (hídrica, solar y eólica) o generada por combustibles renovables (biomasa); se expresa generalmente en unidades de energía y, en el caso de los combustibles, se basan en valores caloríficos netos. (FAO).

¿Qué es la Bioenergía?

La Bioenergía es un tipo de energía renovable procedente de la biomasa, comprende todas las formas de energía derivada de combustibles orgánicos (biocombustibles) de origen biológico utilizados para producir energía. Comprende tanto los cultivos destinados a producir energía que se cultivan específicamente, como las plantaciones polivalentes y los subproductos (residuos y desechos). (FAO)

El término subproductos incluye los subproductos sólidos, líquidos y gaseosos derivados de las actividades humanas. Se puede considerar a la biomasa como una forma de energía solar transformada. (FAO).

¿Qué es la Biomasa?

Se entiende por biomasa a cualquier materia orgánica derivada de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético. La energía de la biomasa es obtenida de diversas fuentes naturales tales como cultivos energéticos o residuos agrícolas, forestales, foresto - industriales y también de aguas residuales urbanas.

La biomasa posee la ventaja de que es más fácil de almacenar que otras energías renovables como la eólica o la solar. Sin embargo, debido a que contiene menor energía por unidad de masa que los combustibles fósiles, es muy costoso su traslado y, por lo tanto, es necesario que se explote en el lugar donde se origina o en las cercanías. De este modo se favorecería a las economías locales, a través de la creación de nuevas fuentes de trabajo.

La Biomasa puede clasificarse de acuerdo a su origen en:

- Natural: no requiere de la intervención humana, se origina en la naturaleza. La misma se puede utilizar con fines energéticos de forma directa como es el caso de la leña, o ramas (obtenidas en la poda y raleo). Al mismo tiempo como se encuentran en la naturaleza presentan un porcentaje de humedad, que muchas veces se debe reducir mediante un tratamiento de secado, para incrementar su poder calorífico.
- Residual: son aquellos residuos que surgen de la actividad primaria (agrícola y forestal) y de la industria mediante su procesado.
 - Residuos agrícolas y forestales
 - Residuos urbanos
 - Residuos sólidos
 - Aguas residuales: biomasa animal
 - Residuos ganaderos: biomasa animal

DANIEL KLOSTER – INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Residuos industriales
 - Forestales
 - Agro-alimentarios
 - Agrícolas
- Cultivos energéticos: son aquellos cultivos que se destinan específicamente a la producción de energía.

De acuerdo con sus posibilidades de uso, se la puede clasificar en:

- **Biomasa Seca**, comprende la biomasa no utilizada en procesos de recolección, foresto industria y agroindustria. Es utilizada en diversos modos, desde la combustión hasta procesos tecnificados y producción de electricidad. Subproductos sólidos no utilizados en actividades agrícolas, forestales ni industrias agroalimentarias o madereras. Por ejemplo, cáscara de almendra, el orujo, podas de frutales, aserrín, entre otros.
- **Biomasa húmeda**, se trata de biomasa que supera contenidos del 60 % de humedad y requiere procesos de secado o ser utilizada en procesos húmedos para la producción de biogás. Por ejemplo, aguas residuales urbanas e industriales y residuos ganaderos.

Los distintos tipos de biomasa presentan diferente potencial energético, asociado fundamentalmente a su contenido de humedad y composición. A partir de esas características será la tecnología aplicada, la que permitirá obtener una cantidad de energía de acuerdo con su rendimiento.

Ventajas y Desventajas de la utilización energética de la Biomasa

Ventajas de la utilización de la biomasa:

1- Disminución de las emisiones de CO₂. Se considera que la cantidad de este gas emitida en la combustión de la biomasa, causante del efecto invernadero, es equivalente a la que fue captada por la masa vegetal durante su crecimiento. Esta ventaja, además de ser amigable con el ambiente disminuyendo del CO₂ liberado a la atmósfera, permite la obtención de bonos de carbono que actúan como un bien canjeable, concepto que se desarrollará más adelante.

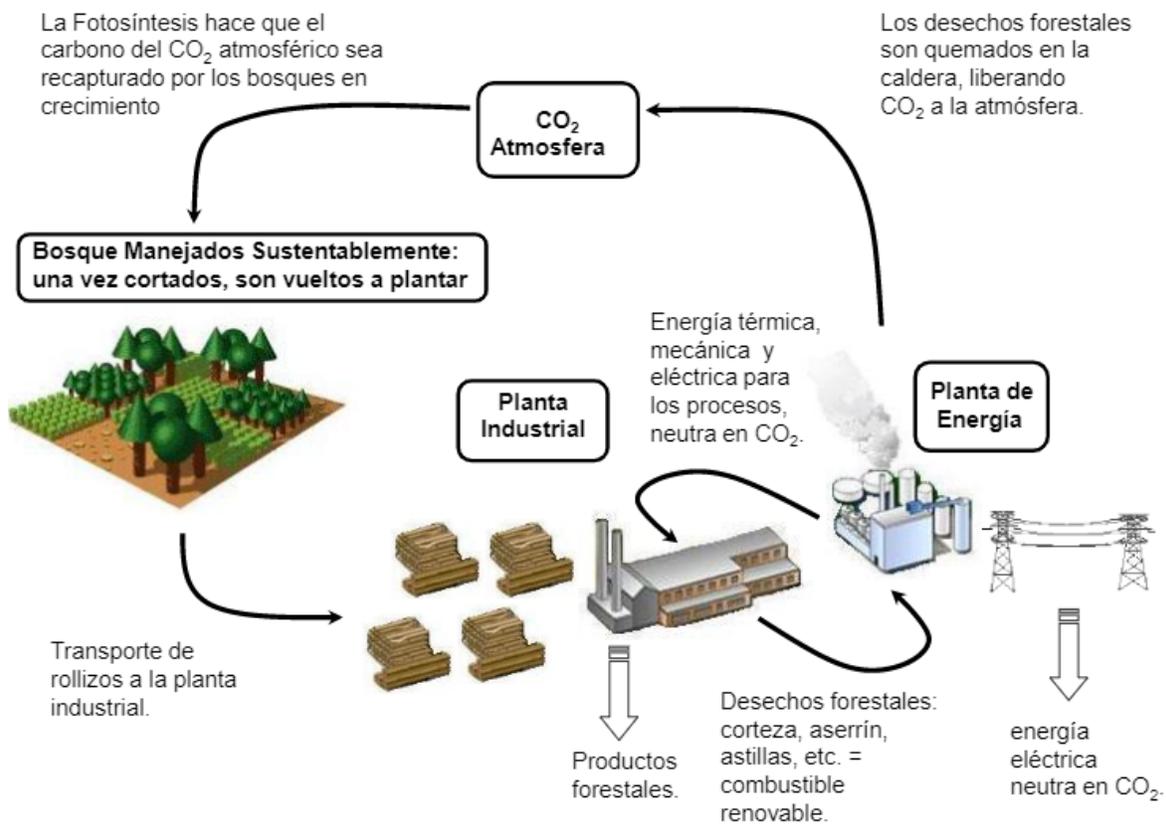


Figura 2: Balance neutro de Carbono

- 2- No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados.
- 3- Si se utilizan residuos de otras actividades como biomasa, esto se traduce en un reciclaje y disminución de residuos.
- 4- Desarrollo Regional.
- 5- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.

Desventajas de su uso:

- 1- Tiene un mayor costo de producción frente a la energía que proviene de los combustibles fósiles.
- 2- Menor rendimiento energético de los combustibles derivados de la biomasa en comparación con los combustibles fósiles.
- 3- La materia prima es de baja densidad energética, lo que quiere decir que ocupa mucho volumen y por lo tanto puede tener problemas de transporte y almacenamiento.
- 4- Necesidad de acondicionamiento o transformación para su utilización.

Dentro de las características que hace atractivo al uso energético de la biomasa es su carácter renovable, ya que, bajo ciertas condiciones se repone, a diferencia de los combustibles fósiles que no lo hacen.

Resulta necesario comenzar a reconocer la importancia que merece este recurso, ya que no solo es interesante desde el punto de vista energético, sino que también desde la perspectiva ambiental y del desarrollo regional.

¿Qué son los bonos de carbono?

Los bonos de carbono son un mecanismo dentro del Acuerdo de París para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en los países desarrollados.

Es un sistema que ofrece incentivos para que empresas y gobiernos contribuyan a mejorar el

medioambiente. Mediante este mecanismo se considera como un bien canjeable con un precio de mercado establecido, que le otorga al portador el derecho a generar emisiones.

Así, un bono de carbono representa el derecho a emitir una tonelada de dióxido del mismo.

De esta forma si una empresa desarrolla un proyecto de disminución de emisiones de CO_2 de forma voluntaria y está interesada en vender su cuota excedente, puede hacerlo a través del mercado de carbono.

Si bien Argentina no es un país firmante del Protocolo de Kyoto participa en el mercado de carbono, mediante el Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL), con la oferta de Reducciones de Emisiones Certificadas (CER).

La realización de este tipo de proyecto de reducción de gases mediante la generación a partir de biomasa forestal se basa en el principio de neutralidad de CO_2 , en el cual este gas generado por las calderas en el proceso de combustión es captado por los bosques implantados en crecimiento. Esto permite la obtención de certificados los cuales son comercializados internacionalmente y funciona como una entrada de divisa extranjera en el país.

Mediante este mecanismo se trata de promover la realización de proyectos de esta índole, creando de esta forma un nuevo mercado de capitales y ayudando a definir las bases de un desarrollo sostenible.

6. Descripción del proyecto

6.1. Denominación del proyecto

Proyecto industrial, para la generación de energía a partir de fuentes renovables, como solución al sector forestal.

6.1.1. Alcances y Límites

La propuesta es presentada para el diseño, proyección y evaluación de inversión de la instalación de una planta de generación de energía eléctrica, utilizando como combustible biomásico chips de madera, el cual será puesto a disposición en la planta ubicada en el Parque Industrial de Concordia para generar 4,5 MW eléctricos, los cuales contemplan un porcentaje que es para el consumo interno de los servicios auxiliares de la central (0,5 MW), y el restante es el que se venderá a CMMESA.

El estudio y puesta en marcha de este tipo de generación, incluye un estudio de mercado para determinar la disponibilidad de la materia prima (chips de madera), un estudio técnico para determinar costos de generación y un estudio económico – financiero para determinar la factibilidad del proyecto.

6.1.2. Localización de la Planta



Figura 3: Localización de la planta – Parque Industrial de Concordia

La central se emplazará en el Parque Industrial de Concordia, uno de los tres mejores parques industriales de la provincia, que además desde el punto de vista estratégico, se localiza en el centro del corredor del MERCOSUR, que está a solo 2 kilómetros de la Ruta Nacional 14.

Cuenta con un predio de 147,5 ha.

Dentro de las razones por las cuales se ha seleccionado esta ubicación se encuentra:

- Transferencia a título gratuito del predio donde se instale la planta, cabe aclarar que la gratuidad alcanza al valor de los terrenos y derechos de construcción, quedando exento los costos propios de infraestructura e inversiones en equipamientos.
- Red de agua potable.
- Sistemas contra incendios.
- Red colectora Cloacal Industrial.
- Planta de Tratamiento de Efluentes.
- Alumbrado Público.
- Servicio de Teléfono e internet.
- Gas natural.
- Captación de agua subterránea mediante perforaciones, que mediante el bombeo no permitirá obtener los caudales de agua necesarios para el proceso.
- La cercanía de la estación transformadora de 11 /33 kV al Alimentador de la empresa distribuidora. Se extenderá una línea de MT aérea de 33 kV con una longitud de 300 m, la cual se conectará a dicho Alimentador, el cual se encuentra ubicado por Avenida Presidente Perón, lo que permitirá la vinculación al SADI, y vender la energía generada a CAMMESA a través de la Salida de la Cooperativa Eléctrica localizada en la intersección de Av. Presidente Perón y Capitán José A. Rojas.

**Figura 4:** Conexión al Alimentador.Beneficios impositivos otorgados:

Fiscales: exención de las Tasas Municipales, por un periodo de 10 años a partir del inicio de actividades del proyecto, según la siguiente escala

Año	Tasa de Desgravación
1-5	100%
6	85%
7	55%
8	40%
9	25%
10	10%

Tabla 1: Escala de beneficios impositivos otorgados.**6.1.3. Origen de la biomasa utilizada en el proyecto**

En el proyecto se plantea la utilización de biomasa obtenida del sector foresto – industrial, es decir, la biomasa generada a lo largo del proceso de aserrado de la madera. Debido a que ocupan una gran cantidad de espacio y son una fuente potencial de incendios. Por lo tanto, el proyecto cierra el círculo de la producción de la madera, ya que aprovecha sus residuos para la generación de energía eléctrica.

El mismo entonces, toma los chips de maderas originados en las industrias forestales y los

utiliza como materia prima para la generación de energía eléctrica, quedando ligado a esta industria, ya que dependiendo del volumen de residuos es que se va a contar con materia prima para generar electricidad. Lógicamente, a mayor producción, mayor generación de residuos.

Cabe destacar en este punto, como se mencionó anteriormente, que en la zona existe un competidor directo, que utiliza para sus procesos, la misma materia prima que el proyecto planteado. Sin embargo, a pesar de ello, la oferta de la materia prima es suficiente para ambos.

6.2. Descripción de la planta

En este apartado se procederá a realizar la descripción de la planta, en lo que tiene que ver con su funcionamiento y dimensionamiento, considerando la cantidad de biomasa disponible en la zona donde se instalará la misma y su rendimiento.

También se presentará el esquema de abastecimiento de la materia prima y la cantidad de la misma aportada por los proveedores de la zona.

Para la definición de la ubicación de la planta se tuvo en cuenta la cercanía a los proveedores, ya que de otra manera influirá significativamente en los costos y tendrá un impacto sobre el ambiente, de esta forma se logra el abastecimiento de la materia prima utilizada de manera más eficiente.

Se describirá además como se llevará a cabo el abastecimiento y cuáles serán sus rutas de transporte.

6.2.1. Principio de Funcionamiento de la Central

La central planteada en el proyecto, funciona de la misma manera que las centrales térmicas convencionales, utilizando para la producción de vapor un ciclo termodinámico Rankine.

El mismo utiliza agua en sus fases líquida y de vapor, como fluido de trabajo. Consta de las

siguientes 4 etapas básicas:

- 1) El flujo de agua es impulsado a través de una bomba hacia la caldera, aumentando la presión del líquido, mediante una compresión adiabática, con lo cual se obtendrá líquido comprimido.
- 2) Una vez que el fluido ingresa en la caldera, primeramente es calentado produciéndose su evaporación, y luego en el sobrecalentador de la misma, aumenta su presión y temperatura hasta alcanzar los valores necesarios de operación de la turbina.
- 3) En la turbina, se produce la expansión del vapor, por medio de la cual se obtiene la energía mecánica de rotación necesaria que será aprovechada en el generador.
- 4) El vapor que sale de la turbina ingresa al condensador que lo devuelve al estado líquido a presión y temperatura constante, y de ahí finalmente es bombeado nuevamente a la caldera para repetir el ciclo.

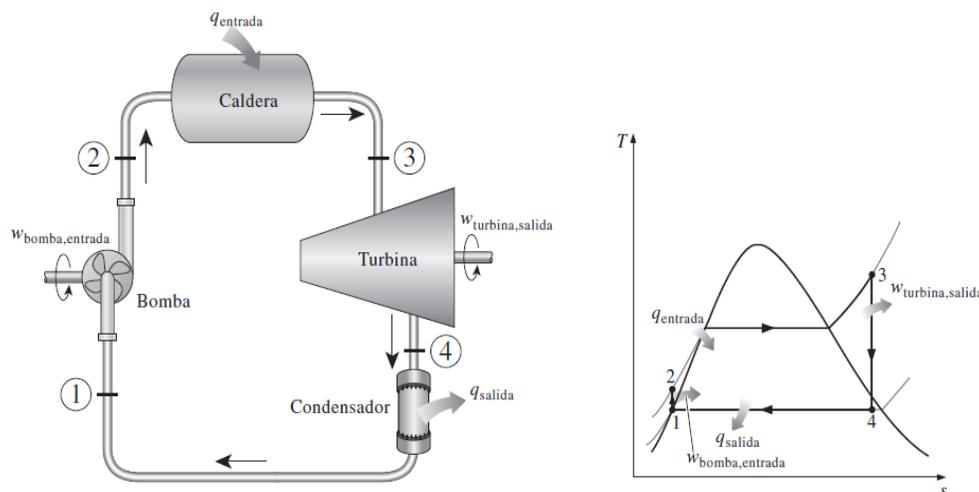


Figura 5: Ciclo Termodinámico de Rankine con Sobrecalentamiento

6.2.2. Demanda de Combustible (Chips de Madera)

La caldera de la central de generación será concebida para utilizar como combustible chips de madera de eucaliptus (40% de humedad) con un PCI de 2600 Kcal/Kg, obtenidos a partir de la disponibilidad de la zona.

Estudios preliminares correspondientes a la disponibilidad de materia prima han permitido determinar que se cuenta con la disponibilidad requerida en el área de incidencia del proyecto.

Es importante a la hora de llevar a cabo el cálculo, tener en cuenta las condiciones fisiológicas de la materia prima utilizada, de esa forma se podrá estimar la cantidad de la misma necesaria para cumplir con los objetivos propuestos y un correcto funcionamiento de la planta.

De acuerdo a la potencia generada por la planta y considerando lo anteriormente mencionado, se estimó que la cantidad requerida para cumplir con la demanda es de 64587,9 toneladas de biomasa por año.

6.2.3. Generación y Distribución

La central de generación abastecerá la demanda eléctrica establecida por contrato con CAMMESA (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima), empresa privada con un propósito público. La misma se encarga del despacho técnico y la administración del Sistema Argentino de Interconexión (SADI).

El proyecto considera un equipo turbogenerador, consistente en una turbina de vapor, para trabajar en las condiciones de presión y temperatura de la caldera, y un generador sincrónico trifásico. La conexión del generador se efectuará por medio de la estación transformadora de la planta al nivel de voltaje de la red eléctrica.

La energía eléctrica obtenida en el proyecto se inyectará a la línea de Media Tensión de la Cooperativa Eléctrica Concordia, y se le venderá a CAMMESA al valor establecido

por contrato, luego la empresa distribuidora se encargará de su distribución. Para ello saldrá desde la central una línea aérea de aproximadamente 300 m hasta el Alimentador de la Cooperativa.

La tensión a la salida del generador es de 11 kV, por lo cual se colocará un transformador elevador a la salida del mismo para llevarla a los 33 kV requeridos, y así suministrar la energía generada por la planta a la red de distribución de MT del Sistema Interconectado Nacional.

Este tipo de proyecto permitirá abastecer la demanda de energía eléctrica negociada con CAMMESA, al mismo tiempo que contribuye con las necesidades actuales respecto de la generación de energía eléctrica a partir de fuentes limpias y renovables.

Para asegurar el aprovisionamiento de la materia prima en cantidad y calidad por parte de los proveedores se procederá a un contrato de cumplimiento entre las partes. Este vínculo será beneficioso para ambas partes, ya que, de no darle destino a estos subproductos de la madera, los mismos serían acopiados o quemados a cielo abierto (prohibido por ley), pudiendo provocar incendios o emisiones de gases propios de la descomposición de la madera, que afectan al medioambiente.

Para el almacenamiento de los chips de madera se optó por su disposición en estructura techada, con sistema de piso móvil formado por placas longitudinales que se mueven en el mismo sentido, permitiendo que el material avance y se distribuya uniformemente por todo el piso. Este cumple con la función de hacer de acumulador de material pudiendo almacenar en su interior el material necesario para varias horas de trabajo de la instalación. La otra función es la de dosificar la entrada de material a la instalación de acuerdo a la necesidad de este.

6.2.4. Condiciones de suministro de potencia y energía eléctrica

Desde la fecha en que comience a operar la central y durante el lapso de despacho de energía eléctrica al Sistema Interconectado Nacional, se deberá instalar una playa de transformación, donde además se instalaran los sistemas de medición y protecciones de acuerdo a las normativas y exigencias vigentes en “Los procedimientos Técnicos de CAMMESA”.

6.2.5. Condiciones de suministro de Biomasa Combustible

Al contar en que comience a operar la central, será necesario suministrar el 100% de las necesidades de combustible de esta instalación.

El combustible para operar la central corresponderá a chips de madera provenientes de la zona en la cual se encuentra instalada la planta, contemplando un radio de alcance de 50 km, recomendable para centrales de esta magnitud, tanto económicamente como ambientalmente.

Sera necesario proveer a la central de 8,08 t de este tipo de combustible, por cada hora de operación prevista de la central.

6.3. Descripción de Actividades

Una vez realizados los estudios relacionados al mercado y ambientales, se procederá al cálculo y diseño de la instalación.

Luego una vez conocida la capacidad de generación de energía, se realizará la evaluación económica.

Posteriormente se llevan a cabo las obras civiles correspondientes y se procede a la instalación del equipamiento necesario para la generación, el desarrollo de la obra eléctrica y la puesta en marcha.

6.3.1. Construcción y puesta en marcha de la central de Generación

La construcción de la central de generación se realizará en una parcela otorgada por el Parque Industrial de Concordia, que cuenta con una superficie de 7200 m² (60m x 120m).

Además de la nave de producción en sí misma, la planta cuenta con un patio de acopio, playa de ingreso y egreso de camiones, una estación transformadora, una torre de enfriamiento modular, tanques de tratamiento de agua con su correspondiente equipamiento, tanque de agua de reserva y de red de incendio.

El terreno para llevar a cabo la obra será provisto por el parque, y se entregarán en calidad de comodato de acuerdo a un contrato específico a suscribirse entre las partes.

Dicho terreno deberá encontrarse libre de contaminación y de obstáculos superficiales o subterráneos antes del comienzo de la obra, lo cual se encuentra garantizado, ya que, el Ente Mixto de Administración del Parque Industrial Concordia (EMAPI), se encarga de esta función, realizando la evaluación y estudio de impacto ambiental correspondiente.

Durante la construcción y posterior operación de esta central, se deberá dar estricto cumplimiento a las normas legales pertinentes, y a las normas específicas sobre la seguridad de las personas y los bienes, y la preservación del medio ambiente.

6.3.2. Plazo de Construcción

La construcción de la central requiere de un plazo máximo de construcción de 17 meses, el cual será medido a contar de la fecha de la firma del contrato entre las partes.

En el cual se consideran los siguientes ítems:

- Proyecto Civil.
- Preparaciones Civiles.
- Obra Civil.

DANIEL KLOSTER – INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Adquisición de Caldera.
- Instalación de Caldera.
- Adquisición de Turbina.
- Instalación de Turbina.
- Pruebas y puesta en marcha Caldera.
- Pruebas y puesta en marcha Turbina.
- Pruebas y puesta en marcha Central.
- Recepción final de obra.

Tiempo Estimado - Planta de Generación																	
Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Proyecto Civil	■	■															
Preparaciones Civiles		■	■														
Obra Civil				■	■	■	■	■	■	■							
Adquisición de Caldera										■							
Adquisición de Turbina											■						
Adquisición de Generador											■						
Adquisición de Condensador											■	■					
Pruebas y puesta en marcha de la Central													■	■	■	■	
Recepción final de obra																■	■

Figura 6: Plazo de Construcción de la Central.

7. Aspecto social, ambiental y legal del proyecto

La instalación de una central eléctrica que funcione a partir de biomasa forestal, es un proyecto que posee tres aspectos muy importantes para nuestro país. Por un lado, se enmarca con los objetivos de desarrollo sostenible y por el otro, contribuye con el desarrollo social y económico de la zona.

Desde el punto de vista ambiental:

- Disminuye la proliferación de lugares de acumulación de residuos de biomasa no controlada.
- Demuestra cómo se puede generar energía limpia y fomenta su replicación.
- Disminuye la utilización de recursos no renovables, combustibles fósiles, para la generación de energía.
- Reduce la emisión de gases de efecto invernadero.

Desde el punto de vista social:

- Genera fuentes de trabajo de forma directa con la operación y construcción de la Planta.
- Colabora en mitigar problemas energéticos del país, que actúan como una limitación para el crecimiento y el desarrollo.
- Diversifica las fuentes de generación de electricidad.
- Se inyecta energía en la zona sur de la ciudad, la cual está teniendo un considerable crecimiento.

7.1. Aspecto Ambiental

La utilización de los residuos generados en el sector foresto – industrial provocaría un impacto positivo, puesto que la utilización de los mismos en una manera controlada disminuiría la contaminación del medio ambiente. De no darles este destino los mismos serían quemados a cielo abierto, sin control alguno, lo que conlleva a la emisión de gases y contaminación de medio ambiente.

Al mismo tiempo la ausencia de azufre en este tipo de combustibles es un aspecto favorable, ya que no se liberarían gases de este tipo a la atmósfera, evitando de esa forma el efecto de la lluvia ácida.

Reducción de Emisiones de Gases de Efectos Invernadero

Este proyecto tiene especial relevancia, ya que se enmarca dentro del esfuerzo corporativo por reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero, mediante el uso de los residuos foresto – industriales, que de no darles destino son potencial fuente de incendios y contaminación.

Al mismo tiempo el proyecto busca sustituir parte de la generación de energía eléctrica por parte de la combustión de combustibles fósiles, la cual emite metano.

Aquí entran en juego los bonos de carbono, los cuales serán propiedad de este proyecto y estará además a cargo del proceso de acreditación, como así también su comercialización, incluyendo el costo asociado a tales efectos.

Evacuación de Cenizas

Las cenizas, producto de la operación de la central, serán almacenadas en los contenedores o zonas de acopio, para su posterior comercialización como fertilizante, siendo este otro ingreso del proyecto. Cabe destacar que la central planteada, contará con un laboratorio, donde se realizarán análisis para evaluar la capacidad efectiva para neutralizar la acidez de los suelos y las

concentraciones de nutrientes adecuados.

Conforme a asegurar un manejo controlado de las cenizas generadas por el proyecto, se deberá establecer un manejo adecuado y programado durante las etapas de manipulación y almacenamiento, transporte y disposición final, de modo de minimizar los efectos al medio ambiente.

Es importante resaltar que con esta acción seguimos contribuyendo, ya que a un subproducto del proceso se le da destino.

Tratamiento del agua utilizada por el proyecto

Para el tratamiento del agua utilizada en el proyecto se cuenta con silos en los cuales se lleva a cabo un proceso de osmosis inversa de doble paso, para obtener agua desmineralizada apta para el proceso productivo.

Con respecto a los residuos líquidos originados principalmente por las aguas de purga de la caldera y agua de descarga de los sistemas de enfriamiento, se deberá cumplir la normativa vigente. Para ello la central cuenta con tanques, en los cuales se lleva a cabo un proceso para que cumpla con los requerimientos necesarios.

7.2. Aspecto Social

La generación de puestos de trabajo no se limita a los puestos directos en construcción, operación y mantenimiento en las centrales. En Argentina, este crecimiento de la potencia instalada permitió la creación de una incipiente industria de renovables (principalmente eólica), que da trabajo a aproximadamente 1600 personas de manera directa, y a más de 3500 de manera indirecta.

7.3. Aspecto Legal

Como se mencionó, la preocupación de los gobiernos a nivel mundial sobre el cambio climático ha obligado a los mismos a orientar sus políticas de estado a fomentar la generación de energía a partir de otras fuentes alternativas, como lo son las renovables.

Este apartado busca mostrar la evolución de Argentina en materia de desarrollo de fuentes alternativas para la generación de energía eléctrica y el crecimiento de las mismas en la matriz energética.

Consideraciones regulatorias del mercado eléctrico

La actividad propuesta por este proyecto abastece de energía eléctrica al Sistema Interconectado Nacional, quien es el que se encargará de su posterior distribución.

El precio de venta y periodo de despacho de la energía estará estipulado por el Programa Renovar Ronda 2, conforme a lo establecido por contrato entre las partes.

Marco Normativo

La energía eléctrica generada con dendroenergía puede comercializarse mediante Contratos de abastecimiento con el mercado para energías renovables. A partir de la Resolución SE 108/11 se prevé la celebración de contratos de abastecimiento entre el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), representado por la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. (CAMMESA), y los agentes asociados a la generación de energías renovables.

El precio de compra se determina teniendo en cuenta los costos operativos y el repago de la inversión. Los contratos tienen una vigencia máxima de 20 años. De esta manera, se acotan riesgos de precios, competitividad, cambiarios, de pago y de posibles cambios regulatorios.

Estos contratos contemplan que el proyecto de generación de energía eléctrica a partir de estos recursos cumpla con las condiciones establecidas en el Ley 25.065 denominada “Marco

Regulatorio Eléctrico”.

Para ingresar el MEM, todo nuevo agente debe solicitar su inscripción a la Secretaría de Energía Eléctrica. Como requisito para ello, la Dirección Nacional de Regulación del Mercado Eléctrico Mayorista analiza los aspectos ambientales asociados al proyecto de generación, cogeneración, autogeneración o transporte de energía eléctrica. Para lograr esta habilitación, obliga a las empresas a realizar las evaluaciones de impacto ambiental desde la etapa de prefactibilidad y a establecer programas de vigilancia y monitoreo durante toda la vida útil de las obras.

Una vez autorizada la inscripción como Agente del MEM, es el ENRE el ente autárquico del Poder Ejecutivo Nacional encargado de vigilar el cumplimiento de las obligaciones de los diferentes actores del mercado eléctrico en su jurisdicción.

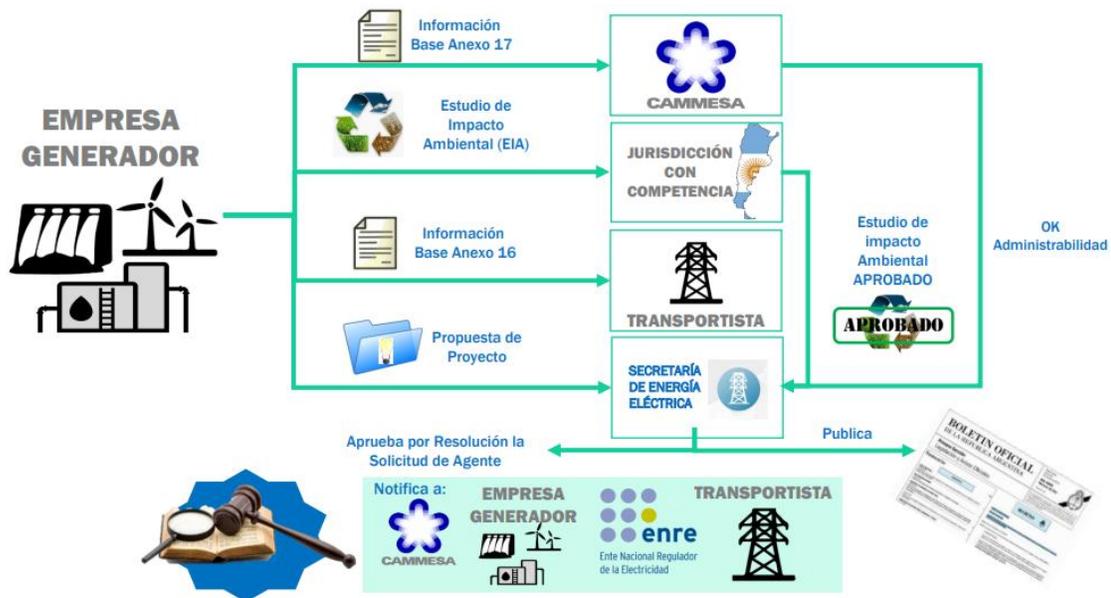


Figura 7: Autorizaciones de la Secretaria de Energía Eléctrica.

Orígenes y Evolución en Argentina

Los primeros pasos se trataron a fines de la década del 90, cuando se aprueba la Ley 25.019 que crea el “Régimen Nacional de Energía Eólica y Energía Solar”. El mismo fija un sistema de aranceles por kWh generado con una vigencia de 15 años acompañado de beneficios fiscales. El primer esquema de incentivo en términos de remuneración de la energía, que no alcanzó a estar operativo, ya que el decreto reglamentario dejó sin efecto los artículos relacionados con los mismos.

En el 2007, se aprueba la Ley 26.190 “Régimen de Fomento Nacional Para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la generación de Energía Eléctrica”. Complementa el régimen definido por la Ley 25.019, declarando de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes de energía renovables. La misma propone una meta de participación de las Energías Renovables a la matriz energética nacional, (8% para el año 2016, porcentaje que no fue alcanzado), así como también la incorporación de otras tecnologías además de la eólica y la solar. Define como fuentes de energías renovables a las fuentes de energía no fósiles: eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, hidráulica (menores a 30 MW), biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás. Además de establecer incentivos impositivos vinculados al IVA y a la amortización acelerada, así como la excepción del impuesto a la Ganancia Mínima Presunta.

Las barreras tanto económicas como financieras que requiere el desarrollo de proyectos de fuentes alternativas, no pudieron ser superadas a pesar de la iniciativa y los esfuerzos. Bajo este contexto, fue lanzado en el año 2009 por el Ministerio de Planificación la primera edición del GENREN I. El mismo consistió en un sistema de licitaciones que pretendía cubrir 1000MW de generación con Energía Renovable.

Dado que las adjudicaciones del GENREN I no alcanzaron a ser cubiertas, debido a la gran oferta existente, se llevó a cabo GENREN II, que tenía como finalidad cubrir dicha oferta restante, pero con el pasar de los años no se alcanzó a cubrir la totalidad.

En cuanto a la generación a partir de biomasa en particular, a finales de 2012 se lanza el proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (PROBIOMASA) encabezado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca y el Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, con la asistencia técnica de la FAO, que tenía como objetivo el aprovechamiento de los residuos, en su mayoría forestales, con el cual se incorporarían 200 MW eléctricos y 200 MW térmicos. Sin embargo, el financiamiento se consideró como una de las principales barreras al proyecto.

En el año 2015, se aprueba la Ley 27.191 de Energía Renovables que modifica a la Ley 26.190, que declara de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de Energía Renovable.

La ley establece que cada usuario deba alcanzar como mínimo un 8% del total del consumo propio de energía eléctrica, con energía proveniente de las fuentes renovables, al fin de 2016, el cual se irá incrementando hasta alcanzar un 20% a fin de 2025. El usuario que no cumpla con la meta deberá abonar el faltante a un precio igual al Costo Variable de Producción de Energía Eléctrica correspondiente a la generación con gasoil de origen importado.

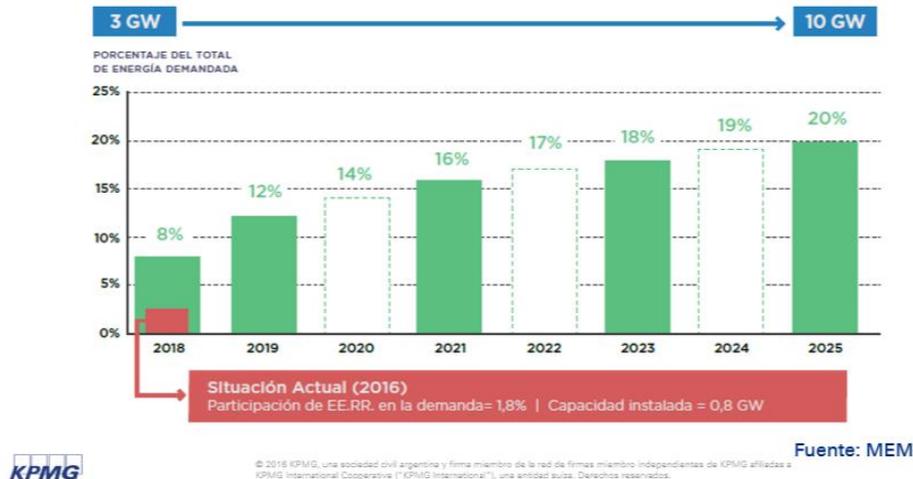


Figura 8: Porcentajes de participación de fuentes renovables a alcanzar por año, según Ley 27.191.

Entre Ríos se adhirió al “Régimen de Fomento nacional para el uso de Fuentes Renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica”. La Ley 10.499 establece la adhesión de Entre Ríos a las disposiciones de la ley nacional 26.190 y su modificatoria ley nacional 27.191.

Para lograr los objetivos propuestos por la ley, se inició en el 2016 el programa Renovar, mediante el cual se otorga una serie de beneficios fiscales y mecanismos de financiamiento. El mismo es llevado a cabo por la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A (CAMMESA), mediante convocatorias abiertas, para la presentación de proyectos, conocidas como Rondas. El RenovAr cuenta con un esquema que articula distintos niveles de garantías, de pago y soberanas, estructuradas en el Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables (FODER), creado por la Ley 27.191. Estas garantías, en conjunto con el Programa de Garantía con el Banco Mundial, ofrecen un mayor nivel de seguridad a los proyectos adjudicados.

El FODER, tiene como función proveer deuda financiera y garantías de pago a los proyectos de energía renovable comprendidos en el marco del RenovAr. El mismo se puede

capitalizar mediante (a) recursos de los presupuestos nacionales; (b) impuestos específicos a la demanda de energía; (c) los ingresos obtenidos de la emisión de bonos por el fideicomisario del Fondo, y (d) otras fuentes externas que deseen contribuir al Fondo.

Para contribuir con la industria nacional, como requerimiento debe haber un mínimo de entre el 25 y 35% de componentes locales, generando de esta manera empleos en la zona de incidencia del proyecto.

Además, se les otorga los beneficios fiscales establecidos en el artículo 4° de la Ley 27.191, que modifica al artículo 9° de la Ley 26.190, dentro de los cuales se destaca la devolución anticipada de IVA, amortización acelerada en el impuesto a la ganancia, entre otros.

Decreto 531/2016. Reglamenta la Ley N° 27.191/2015. Este Decreto Reglamentario, perfecciona las Leyes N° 26.190 y N° 27.191. Sienta los criterios de aplicación de la ley, estableciendo incluso el monto de asignación presupuestaria para los beneficios de la ley por el Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables (FODER).



Figura 9: Evolución Normativa en materia de Energía Renovables en Argentina.

Evolución Programas orientados a la Promoción de energía Renovables

PERMER (1999 - continúa): El Programa de Energía Renovable en Mercados Rurales (PERMER) primer programa orientado a la promoción de energía renovable en el país. Su objetivo es dar respuesta a la necesidad eléctrica de zonas rurales. Su financiamiento está dado por aportes del Banco Mundial.

PRONUREE (2007- continúa): El Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía. Es un programa que complementa a los demás programas de fomento de energía renovable, mediante la concientización sobre el uso eficiente y sostenible de la energía, por parte de los usuarios, implementando diferentes medidas con tal fin, a través la educación, etiquetado de productos, entre otros.

GENREN (2009-2015): El programa Generación Renovable (GENREN). El mismo se orientó a la promoción de proyectos de generación renovable, destinados a su interconexión al Sistema Argentino de Interconexión (SADI). Consistía en el compromiso por parte de Energía Argentina S.A. (ENARSA), a comprar la energía a los generadores a precios fijos diferenciales, en dólares, durante un periodo de 15 años, para luego venderla al Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).

IRESUD (2011- continúa): Interconexión de Sistemas Fotovoltaicos a la Red Eléctrica en Ambientes Urbanos. El objetivo que persigue el mismo es generar tecnología y conocimiento en el país para la instalación y desarrollo de sistema fotovoltaicos de baja tensión con inyección en red eléctrica pública. El proyecto es parcialmente subsidiado con Fondos Argentinos Sectoriales (FONARSEC) a través de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCyT).

PROBIOMASA (2012- 2017): Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa. Impulsado por los Ministerios de Agricultura y de Planificación a través de las Secretarías de

Agricultura, Ganadería y Pesca y la Secretaría de Energía con la asistencia técnica de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Su objetivo es la difusión de la producción de energía a partir de biomasa, con el fin de incrementar el suministro de energía limpia a la matriz energética de Argentina y favorecer el desarrollo regional y ambiental.

RenovAr (2016- 2019): consiste en la adjudicación de ofertas por medio de diferentes convocatorias abiertas (Rondas), donde se celebran contratos para el abastecimiento de energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables y así aumentar su participación en la matriz energética del país. El abastecimiento se hace a través de CAMMESA en representación de los agentes distribuidores y grandes usuarios del MEM.



Figura 10: Evolución de Programas orientado a la promoción de Energía Renovables en Argentina.

8. Análisis Económico y Financiero

Mediante este análisis se pretende determinar la factibilidad del proyecto desde uno de sus 3 pilares, el Económico – Financiero.

El flujo de fondos se llevó a cabo a 20 años, ya que se considera un periodo considerable para este tipo de proyectos.

El análisis se realizó desde el punto de vista del inversor.

Flujo de Fondos Neto o Flujo de Caja: El flujo de fondos está formado por los ingresos y egresos previstos por periodo y el neto resultante de la diferencia entre ambos. En el mismo se proyectan o se registran las entradas y salidas de efectivo que representan las actividades operativas de la empresa.

Siempre se construye con el criterio de lo percibido (ingresos y egresos), no de lo devengado (ganancias y pérdidas).

Para calcular el valor del proyecto, se proyectan los flujos de caja que se esperan recibir en el futuro. Para conseguirlo se utilizó una técnica que consiste en la proyección de los ingresos esperados y a partir de allí deducir las demás magnitudes. El mismo se calculó a 20 años.

Periodo de Repago: Es el tiempo necesario para que la inversión pueda pagarse por sí misma.

Sumamos los valores absolutos de los resultados de los flujos de fondos y en el periodo que esta se hace 0 (cero), ese es el plazo de repago. El proyecto se repaga en todos los escenarios planteados siempre antes o en el quinto año, lo que es relativamente rápido, dado que estamos hablando del 25% de la vida útil económica del proyecto.

VAN (Valor Actual Neto): mide el aporte económico de un proyecto a los inversionistas. Esto significa que refleja el aumento o disminución de la riqueza de los inversionistas al

participar en los proyectos. En otras palabras, es la diferencia entre el Valor Actual de los futuros flujos positivos de caja (ingresos) y el Valor Actual de los flujos negativos de caja (egresos), actualizados a una tasa de interés determinada previamente.

En lo que respecta al proyecto se adopta una tasa del 6%.

TIR (Tasa Interna de Retorno): trata de medir la rentabilidad de un proyecto o activo.

Representa la rentabilidad media intrínseca del proyecto. Se define la tasa interna de retorno como aquella que hace que el valor presente neto sea igual a cero. En otras palabras, es la máxima tasa de interés que podría pagarse por el capital empleado durante toda la vida de una inversión, sin que esta sufra pérdida alguna en proyecto.

Luego de introducir los conceptos previos se debe considerar, que, si bien la materia prima utilizada en el proyecto es de escaso valor, los costos de equipos, traslado, mano de obra y mantenimiento, al igual la inversión resultan ser elevados.

Se han contemplado en la evaluación, los beneficios que otorga la Ley N.º 27.191 de “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica”. Asimismo, se han sumado los ingresos por acceder al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), bonos de carbono.

Descripcion de ingresos y egresos del proyecto:

Ingresos:

- Venta de energía a CAMMESA, precio diferencial por aplicar en el Renovar Ronda 2.
- Venta de Cenizas residuales del proceso productivo, como abono o fertilizante para suelos.
- Obtencion de bonos de carbono, que se utilizan como un bien canjeable, con un precio de mercado establecido.

Egresos:

- Inversión Inicial.
- Costos de Materia Prima puesta en Planta.
- Costos Mano de obra.
- Costos de Operación y Mantenimiento.

Externalidades

Las externalidades o costos externos son aquellos costos o beneficios, relacionados con la salud, el medio ambiente y otros aspectos, en los que se ha incurrido como resultado de las actividades de la cadena de producción energética mediante biomasa, pero que no forman parte del precio pagado de la energía. El costo asociado a esos efectos es cubierto por la sociedad en su conjunto. No considerar las externalidades o costos ocultos a los precios de mercado de un bien puede conducir a una toma de decisiones económicas, sociales y ambientales desacertadas.

Existen también efectos positivos asociados a la generación de energía eléctrica manifestada en empleo, infraestructura y servicios. Se suma también el efecto de la seguridad de abastecimiento, reducción de dependencia energética, diversificación de la matriz energética y contribución al desarrollo sustentable.

El flujo de fondos y los diferentes escenarios se encuentran dentro del apartado Anexo - “Estudio Económico - Financiero”

9. Plan de Marketing

9.1. Misión, Visión y Valores

9.1.1. Misión

BioGen ER busca generar energía eléctrica de manera limpia, a través de fuentes renovables como lo es la biomasa, dando una solución al sector foresto – industrial de la región, al mismo tiempo que se enmarca dentro de los objetivos de desarrollo sostenible, cuidando así el medio ambiente.

9.1.2. Visión

Ser líderes en la generación de energía renovable a partir de biomasa en la provincia y a nivel nacional, convirtiéndonos en sinónimo de calidad, servicio y cuidado del medio ambiente para la población.

9.1.3. Valores

- Asegurar la generación de energía eléctrica bajo principios de sustentabilidad.
- Responsabilidad tanto en la vertiente social como en la ecológica, demostrando que no nos interesa únicamente los beneficios económicos.

9.1.4. Objetivos

Objetivo General:

El objeto general del proyecto es identificar oportunidades para el emplazamiento de una central de generación de energía eléctrica de 4,5 MW de potencia eléctrica a partir de fuentes renovables provenientes del sector forestal de Entre Ríos, bajo un marco sostenible, creando puestos de trabajo en áreas del interior de la provincia.

Los objetivos específicos del proyecto son:

- Contribuir con la normativa vigente, referida a la incorporación de fuentes alternativas de generación a la matriz energética.
- Determinar la configuración de mayor rentabilidad del proyecto.

9.2. Estudio de Mercado

9.2.1. Situación de la Biomasa en Argentina

En Argentina, los residuos producidos por el sector forestal, representan un gran potencial biomásico para la producción de bioenergía. El manejo adecuado y controlado de la misma y los costos que incurre su puesta en la central son los factores que influyen en el éxito de su utilización.

Para la cuantificación de la biomasa disponible en la zona fue necesario hacer un estudio de mercado, para ello se realizaron entrevistas a empresas del sector y a organismos públicos a tal fin, y así de esa manera determinar si se cuenta con el volumen necesario para generar los megavatios establecidos por el proyecto.

El mercado de la biomasa para su utilización en la generación de energía, se encuentra en constante expansión en la Argentina. Este crecimiento viene acompañado de la utilización de los diferentes residuos generados en los diferentes eslabones de la cadena forestal, desde la poda y el raleo hasta el aserrado y remanufactura de la madera, en función de sus costos y acondicionamiento y traslado al sitio de generación. En la cadena forestal, el eslabón industrial de los aserraderos pasó de quemar el aserrín, los despuntes y costaneros a entregarlos como materia prima o combustible industrial. Este proceso implicó la incorporación de trituradoras de madera o chiperas y un nuevo sistema de gestión.

Sin embargo, no existe aún un mercado establecido y en ocasiones los mismo son quemados a

cielo abierto, lo que genera una fuente potencial de incendios al no ser controlados, al mismo tiempo que emite gases de efecto invernadero dañinos para el medio ambiente.

Valores Febrero 2021**Generación Renovable – Participación sobre la demanda/fuente**

RENOVABLE [GWh]	Feb 2020	Feb 2021
HIDRO Renovable	130	116
EÓLICO	650	824
SOLAR	84	170
BIOMASA	13	45
BIOGAS	21	23
TOTAL RENOVABLE	898	1179
DEMANDA TOTAL	10843	10085
% Participación REN/DEM	8.3%	11.7%

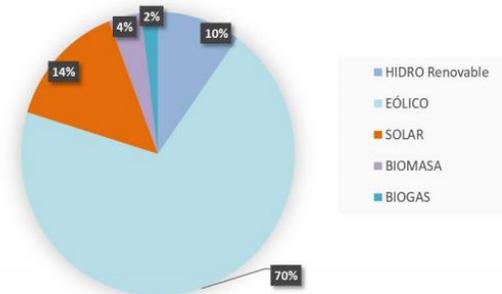
Participación por tipo de Generación sobre el total Renovable
Febrero 2021

Figura 11: Participación de las Energías Renovables en la matriz energética nacional a febrero de 2021.

En la figura anterior se muestra la participación de las energías renovables en la matriz energética nacional a febrero de 2021, donde el 60% corresponde a fuentes de energía convencionales de origen térmico, y un 11% corresponde a la participación de renovables.

En este marco de evolución, la participación de las EE.RR en la matriz eléctrica local (o en la potencia total instalada, PTI) alcanzó el 10 % a finales de 2020. A pesar de no haberse alcanzado el objetivo estipulado en la Ley N° 27.191, que exigía un 14 %, la evolución registrada en los dos últimos años se traduce en un crecimiento significativo, lo cual conforma un cambio paradigmático respecto a la composición tradicional de la matriz eléctrica. Esto es en gran parte resultado de las medidas que fue adoptando el estado en relación a la promoción y fomento de energías alternativas, por medio de las leyes y programas que fueron surgiendo.

Se comenzó el 2021 con una participación del 10% de la potencia total instalada, y en febrero se alcanzó a cubrir el 11,7% de la demanda total.

Ahora bien, haciendo hincapié a la energía de la biomasa en particular encontramos que tuvo un crecimiento importante en los últimos años. Esto nos da una buena perspectiva para el proyecto.

Algunos aprovechamientos de energía de la biomasa en la Argentina

En la República Argentina, al igual que en el resto del mundo, se han realizado y se realizan en la actualidad aprovechamientos energéticos de la biomasa. En la siguiente tabla se listan los proyectos realizados en el país, considerando la biomasa utilizada, su inversión, la ronda en la que aplicó y su precio adjudicado.

CENTRAL	POTENCIA INSTALADA	COMBUSTIBLE	OFERENTE	PRECIO ADJ. (US\$/MWh)	INVERSIÓN	RONDA RENOVAR
Ticino, Córdoba	3 MW	Cáscara de maní, eventualmente Chips de madera	Lorenzati Reutsch y Cía SA	143,1	\$ 160.000.000	2
Gral. Cabrera, Córdoba	9 MW	Cáscara de maní	Prodeman SA	126,5	\$ 350.000.000	2
Las Junturas, Córdoba	0,5 MW	Cáscara de maní	Emerald Resources SRL	141	US\$ 2.000.000	2
Gdor. Virasoro, Corrientes	37 MW	Residuos foresto industriales	Fuentes Renovables de Energía SA	108	US\$ 60.000.000	2
Santa Rosa, Corrientes	12,5 MW	Residuos foresto industriales	Papelera Mediterránea/Lucena	110	US\$ 40.000.000	1
Santo Tomé, Corrientes	12,92 MW	Residuos foresto industriales	Santo Tomé Kuera SA	110,6	US\$ 45.000.000	1
Puerto Esperanza, Misiones	2 MW	Residuos foresto industriales	Pindó	110	\$ 100.000.002	1
Cerro Azul, Misiones	3 MW	Residuos foresto industriales	Molino Matilde SA	143,1	US\$ 7.000.000	2
Rojas, Buenos Aires	7 MW	Residuos del maíz	Global Dominion Acces	126,1	US\$ 12.500.001	2
Las Lomitas, Formosa	10 MW	Madera forestal	Biotérmica Las Lomitas SA	123,8	US\$ 30.000.000	2
La Escondida, Chaco	10 MW	Residuos de madera (tanino de quebracho)	Indunor SA	129,8	US\$ 20.000.000	2
La Florida, Tucumán	19 MW	Bagazo de caña de azúcar	Genneia SA	106,7	US\$ 80.000.000	2
Venado Tuerto, Santa Fe	7 MW	Residuos del maíz	Global Dominion Acces	106,7	US\$ 40.000.002	2
Puerto Tirol, Chaco	6,6 MW	Tanino vegetal (chips de eucalipto)	Unitán S.A.I.C.A	115,2	US\$ 15.000.001	2

Tabla 2: Proyectos a partir de Biomasa realizados en el país bajo el Programa RenovAr.

Cabe destacar que el uso actual de la biomasa destinado a la generación de energía eléctrica en Argentina, es mucho menor a la oferta de recursos que hay disponible, por esta razón es necesario promocionar su uso en esta actividad y desarrollar tecnología apta para su transformación.

En la siguiente imagen se puede observar la evolución de los proyectos de generación a partir de renovable y el impulso que dio a estos el programa Renovar, en sus diferentes Rondas.

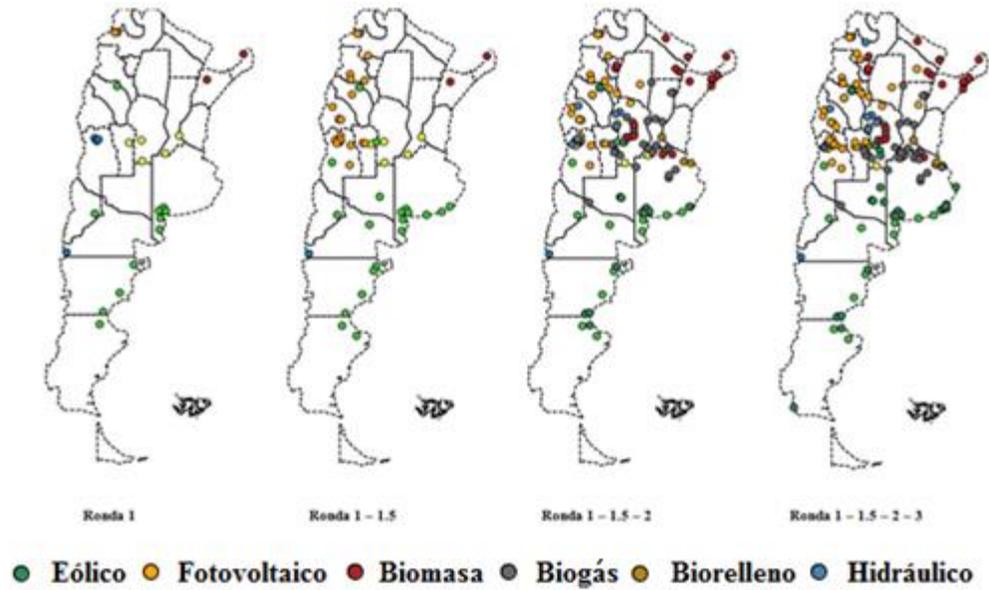


Figura 12: Evolución de los proyectos de generación a partir de Fuentes Renovables en Argentina, en las diferentes Rondas del RenovAr.

Además, se puede apreciar, como en la Provincia de Entre Ríos, no existe ningún proyecto de esta índole, siendo que es la tercera provincia con mayor forestación de Argentina, por lo cual este proyecto sería pionero dentro de la provincia.

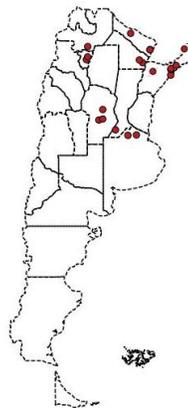


Figura 13: Proyectos de generación a partir de Biomasa en Argentina.

9.2.2. Situación de la Biomasa en Entre Ríos

La cantidad de residuos disponibles del último censo de aserraderos 2015, en la actividad forestal primaria y foresto – industrial de Entre Ríos se puede estimar entre 940.000 t/año y 800.000 t/año de biomasa, con una humedad media que se puede considerar en el orden de 40%. Descontando la parte que puede utilizarse como materia prima para papel o tableros, el resto sería en principio utilizable con fines energéticos, que resulta entre 840.000 t/año y 710.000 t/año.

En lo referido a la tecnología utilizada para el acondicionamiento y abastecimientos de los residuos, encontramos que, en Concordia, los aserraderos optan por incorporar a su proceso e infraestructura, chiperas, estructuras de almacenamiento y cargadoras frontales.

En Concordia, donde hay una gran demanda de los mismos, el mercado está orientado a un trato personalizado en vez de un mercado general.

9.2.3. Barreras de bioenergía:

Luego de los distintos estudios llevados a cabo a lo largo del proyecto, se concluyó a que las principales barreras a la incorporación de las fuentes de Energía Renovables a la matriz energética, son de tipo:

- Técnicas: entre las barreras técnicas, las principales son la escasa información sobre recursos, la localización de recursos donde no hay demanda, la localización de recursos donde no hay infraestructura, y el insuficiente desarrollo de las capacidades para el diseño, operación, construcción y mantenimiento.
- Económicas y Financieras: entre las barreras económicas y financieras encontramos los elevados costos de inversión en equipamiento, la dificultad en la competitividad frente a la generación convencional.

- Institucionales y sociales: entre las mismas encontramos la necesidad de compatibilizar la política energética con la política ambiental, la necesidad de incentivos públicos, la falta de consideración de las externalidades.

9.3. Segmentación

El principal cliente será CAMMESA, a quien se le venderá la energía generada por la central.

Entre los clientes secundarios se encuentra el sector agroindustrial mediante la venta de las cenizas como fertilizante para los suelos.

9.4. Diferenciación

A nivel general, la central se diferencia de las centrales termoeléctricas convencionales, al utilizar un recurso que tiene la doble ventaja de ser renovable y no contaminante, como lo es la biomasa forestal.

En el marco de las energías alternativas y considerando que la zona donde se radicará la central, es apta para la generación de energía eléctrica a partir de biomasa y solar, se diferencia en que la primera puede ser almacenada, asegurando un suministro continuo a la red.

9.5. Posicionamiento

BioGen ER pretende posicionarse en la mente del consumidor como una central comprometida con el ambiente. Para ello ofrece el servicio de generación de energía eléctrica que cumple con las necesidades actuales de carácter social, ambiental y legal, al darle destino a los residuos generados en la industria forestal. De aquí se puede observar que el cuidado y el compromiso comienzan desde una iniciativa y contribuye así a una forma limpia de generar y abastecer a los usuarios.

Se busca, en un futuro, ser una de las mejores plantas nacionales en materia de

sustentabilidad, siendo reconocida por los esfuerzos de concientizar a la sociedad y participando activamente en diversos eventos y campañas ambientales.

Es de público conocimiento que el cuidado del ambiente, hoy en día, se encuentra muy presente en la sociedad, y cada vez está tomando mayor importancia. Esto es un punto a favor para posicionarse como empresa al enmarcarse dentro de los objetivos de desarrollo sostenible.

9.6. Comunicación

A la hora de elegir los canales o medios de comunicación hay que saber primeramente a quien va dirigido el mensaje y las alternativas existentes para hacer llegar al mismo de manera efectiva.

Mediante la comunicación se busca dar a conocer los beneficios y resultados del proyecto a los actores involucrados, ejemplo aserraderos de la zona, los cuales cuentan con la problemática de que destino darles a los residuos que generan.

Dentro de los objetivos comunicacionales a lograr se encuentran:

- Hacer llegar el propósito que se persigue a la mayor cantidad posible de usuarios.
- Posicionarse como una empresa comprometida con el medio ambiente.
- Fomentar la réplica de proyectos sostenibles.

Dentro de las estrategias para lograr llegar a los actores que se verían beneficiados con el proyecto encontramos:

- Establecer relaciones con entidades o instituciones que impulsen el cuidado del medio ambiente y la generación de energía limpia, con el fin de utilizar sus canales de comunicación como llegada a la sociedad.
- Participación en mesas empresariales del rubro de la madera.
- Participación en Jornadas Forestales.

- Presencia en las redes sociales, considerando su uso masivo en la sociedad como, Instagram, Facebook, LinkedIn, entre otros.
- Participación en bloques especiales de programas dedicados a la industria maderera y/o al cuidado del medio ambiente.
- Presencia en sitios web específicos.
- Contar con apartados en ediciones de revistas técnicas asociadas al tema en cuestión.

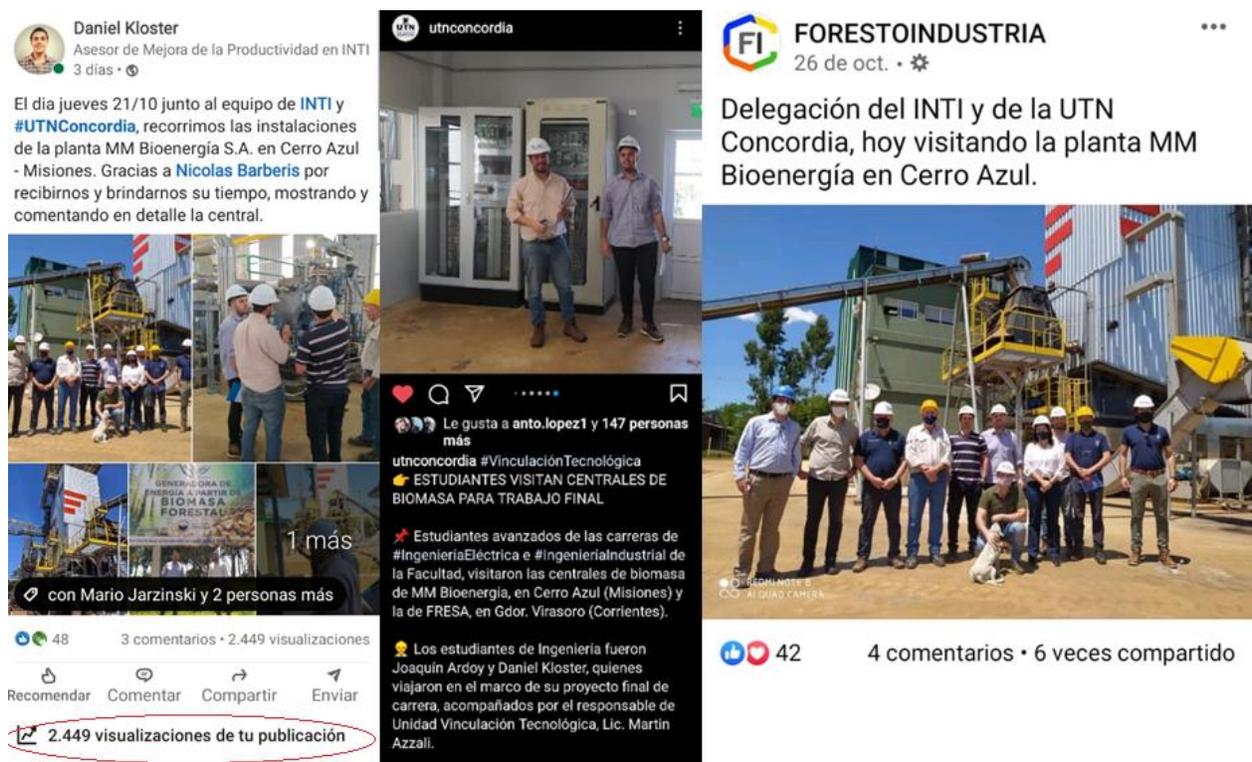


Figura 14: Difusión en las redes de visita realizada en el marco del proyecto.

9.7. Análisis FODA del Sector

En el mismo se destacan como fortalezas las relacionadas al desarrollo económico, al cuidado del medio ambiente, y contribución a la reducción de la importación de energía y como debilidades nos encontramos con la necesidad de una inversión inicial elevada, rutas para el

abastecimiento de la materia prima y con capacidades de almacenamiento de energía para su suministro. En cuanto a las oportunidades, el desarrollo de las economías regionales, la utilización de recursos de la zona y desarrollo de la industria forestal. En lo que concierne a las amenazas se destacan la falta de políticas nacionales en el uso de energías renovables en la industria y el control del mercado por parte de las energías tradicionales.

Fortalezas

- A nivel provincial, se cuenta con los recursos naturales para iniciar proyectos de este tipo.
- Es una solución a las industrias forestales al darle destino a los desperdicios generados del propio proceso.
- Cercanía a los proveedores, un factor importante en este tipo de proyectos.
- La planta se instalará en el Parque industrial, lo que trae aparejados beneficios impositivos.
- Disminuye la proliferación de lugares de acumulación de residuos de biomasa no controlada.
- Genera fuentes de trabajo de forma directa.
- Se enmarca dentro de los objetivos de desarrollo sostenible.

Oportunidades

- Crecimiento del sector forestal en la provincia.
- Programas y leyes que promueven el impulso de las energías renovables.
- Actúa como un proyecto demostrativo de energía limpia alentando su replicación.
- Utilización de las cenizas generadas en el proceso como fertilizante o relleno de suelos.

Debilidades

- Elevada inversión inicial.
- Rutas para el abastecimiento de la materia prima.

Amenazas

- Existencia de grandes competidores en la zona.
- Marco legal aún en desarrollo.
- Riesgo país.
- Inestabilidad Económica.

10. Conclusión

El problema de contaminación es un problema cada vez más preocupante y abordado por la sociedad, ya que las consecuencias del deterioro son cada vez más perceptibles e importantes. La emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera y el consiguiente calentamiento global es uno de los principales problemas que enfrenta la sociedad. La principal fuente de emisión de gases de efecto invernadero está dada por las centrales termoeléctricas en su proceso de generación de energía eléctrica. Por lo tanto, generar energía limpia es un desafío para la humanidad que cada vez cobrará mayor importancia, por lo cual se considera que este proyecto servirá como base y disparador para el desarrollo de proyectos similares.

Argentina dispone de los recursos para llevar a cabo proyectos de este tipo utilizando biomasa para la generación de energía eléctrica.

Por otra parte, el proyecto presenta una alternativa de generación de energía eléctrica a partir de recursos renovables como contraposición a la generada con energías no renovables, que como se mencionó en el trabajo, en Argentina superan el 60% de la producción nacional. En todos los países desarrollados del mundo el desarrollo sustentable es una materia considerada importante dirigiendo todos sus esfuerzos a la explotación de estos tipos de generación.

El desarrollo sustentable consiste en satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades.

Debe darse un desarrollo en el cual exista un equilibrio entre lo social, lo económico y el medio ambiente, donde se pueda satisfacer las necesidades de la sociedad mediante una actividad económica y un progreso tecnológico que permita que el medio ambiente se recupere al mismo ritmo que es afectado por la actividad humana.

11. Bibliografía

- Argentina - PROBIOMASA Contribución actual de la biomasa al BEN y potencial de. (2016).
- FAO. (2019). Informe sobre la factibilidad del aprovechamiento de la biomasa forestal de campo.
https://books.google.com.mx/books?id=M1PHDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Food and Agriculture Organization. (2009). Análisis del balance de energía derivada de la biomasa en Argentina - WISDOM Argentina - Informe Final. FAO Departamento Forestal Dendroenergía, 120.
- Franco, J., Belmonte, S., Sarmiento, N., González, F., Discoli, C., Martini, I., Viegas, G., Barros, M. V., Chevez, P., Garrido, S., Schmukler, M., Lalouf, A., Escalante, K., & González, J. (2017). Energías Renovables en Argentina: visiones y perspectivas de los actores sociales. 86.
http://energiarenovablesociedad.com/img/InformefinalPIOYPF_2017_01-06.pdf
- Lalanne, B. (2015). Utilización De Biomasa Para La Generación De Energía Eléctrica. 19. [https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/927/L194 - Utilización biomasa para la generación de energía eléctrica.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/927/L194_-_Utilizaci3n_biomasa_para_la_generaci3n_de_energ3a_el3ctrica.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Mastrandrea, C. (2009). CADENA FORESTO-INDUSTRIAL DE LA PROVINCIA.
- Ministerio de Agroindustria de la Nación. (2017). CENSO NACIONAL DE ASERRADEROS 2015. Informe del relevamiento censal en la provincia de Entre Ríos - Región Mesopotámica. 1–26.

DANIEL KLOSTER – INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Mundial, B. (2019). Programa RenovAr Garantía FODER – Fondo de Energías Renovables MARCO DE GESTIÓN DE RIESGO.
- UADER. (2019). Día Mundial del Medio Ambiente.
- Murgía, J. Centrales de generación hidráulica, térmica y nuclear, características de funcionamiento y sus equipos asociados. Apunte de la cátedra - Centrales y Protecciones Eléctricas.



BioGen ER
Generación Limpia

ESTUDIO TÉCNICO

En este apartado del proyecto, se intenta dar una visión global de los componentes que forman una central de Biomasa y el funcionamiento que requiere para la producción de energía eléctrica a partir de biomasa forestal.



AUTOR: KLOSTER, DANIEL ALEJANDRO
CARRERA: INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROFESOR:
ING. SCHATTENHOFER, FEDERICO ARNOLDO

2021

TUTORES:

CR. ALVAREZ, CARLOS ARTURO
ING. BASGALL, LUIS AGUSTÍN
ING. FORNILLO, OCTAVIO JAVIER

UTN Concordia
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Concordia

Índice General

1.	Generación de Energía Eléctrica.....	3
1.1.	Principio de Funcionamiento de la Central.....	4
2.	Descripción de la Tecnología Adoptada.....	5
2.1.	Planta Industrial.....	5
2.2.	Nave Productiva.....	7
2.2.1.	Caldera.....	8
2.2.2.	Turbina de Vapor.....	12
2.2.3.	Generador Sincrónico Trifásico.....	15
2.2.4.	Sistema De Excitación.....	19
2.2.5.	Sincronizador.....	31
2.2.6.	Sistema de Regulación de Velocidad.....	34
2.2.7.	Condensador.....	39
2.2.8.	Torres de Enfriamiento.....	42
2.2.9.	Bomba de Alimentación.....	45
2.3.	Patio de Acopio.....	47
2.4.	Mantenimiento general de la central.....	50
3.	Esquema de Conexión en Media Tensión.....	51
3.1.	Transformador Principal.....	53

DANIEL KLOSTER – INGENIERÍA INDUSTRIAL

3.2.	Transformador de Servicios Auxiliares	54
3.3.	Generador Diésel	55
3.4.	Celdas de Transformación	56
4.	Logística.....	60
4.1.	Costos de transporte.....	61
	Programación de las rutas de recolección del proyecto.	62

1. Generación de Energía Eléctrica

Para la generación eléctrica se llevó a cabo el estudio de diferentes tecnologías, para el aprovechamiento de la energía química contenida en los chips de madera, que a través de diversas transformaciones energéticas resultará en la obtención, finalmente, de energía eléctrica, la cual será inyectada al Sistema Interconectado Nacional para su distribución.

El almacenamiento y la alimentación de la materia prima para la generación eléctrica son similares a los utilizados en las centrales térmicas convencionales, a base de carbón. La principal diferencia es la utilización de biomasa (chips de madera) como combustible para la caldera. Lo atractivo de su utilización, a diferencia de los combustibles fósiles, es su carácter limpio y renovable.

Las centrales termoeléctricas de biomasa se diferencian de la solar y eólica en su capacidad de almacenamiento que sirve como respaldo antes distintas eventualidades. Lo que requiere un estudio de la disponibilidad de biomasa en la zona del emplazamiento, un adecuado dimensionamiento del almacén y de la logística de aprovisionamiento.

Al igual que en centrales nucleares y las demás térmicas convencionales (fuel oil y gas natural), es necesario generar vapor acorde a los requerimientos de la turbina, en la cual se realizará la conversión de su energía potencial térmica en energía mecánica de rotación, que finalmente, mediante un generador sincrónico acoplado a la misma se obtendrá la energía eléctrica deseada.

1.1. Principio de Funcionamiento de la Central

La central planteada en el proyecto, como se mencionó anteriormente, funciona de la misma manera que las centrales térmicas convencionales, para la producción de vapor utiliza un ciclo termodinámico Rankine.

El mismo utiliza agua en sus fases líquida y de vapor como fluido de trabajo, y tiene las siguientes cuatro etapas básicas:

1. El flujo de agua es impulsado a través de una bomba centrífuga hacia la caldera, aumentando la presión del líquido, mediante una compresión adiabática, con lo cual se obtendrá líquido comprimido.
2. Una vez que el fluido ingresa en la caldera, primeramente, es calentado produciéndose su evaporación, y luego en el sobrecalentador de la misma, aumenta su presión y temperatura hasta alcanzar los valores necesarios de operación de la turbina.
3. En la turbina, se produce la expansión del vapor, por medio de la cual se obtiene la energía mecánica de rotación necesaria que será aprovechada en el generador sincrónico.
4. Por último, el vapor que sale de la turbina ingresa al condensador que lo devuelve al estado líquido a una presión y temperatura constante, y de allí finalmente es bombeado nuevamente a la caldera para repetir el ciclo.

Este proceso se puede observar en la siguiente figura.

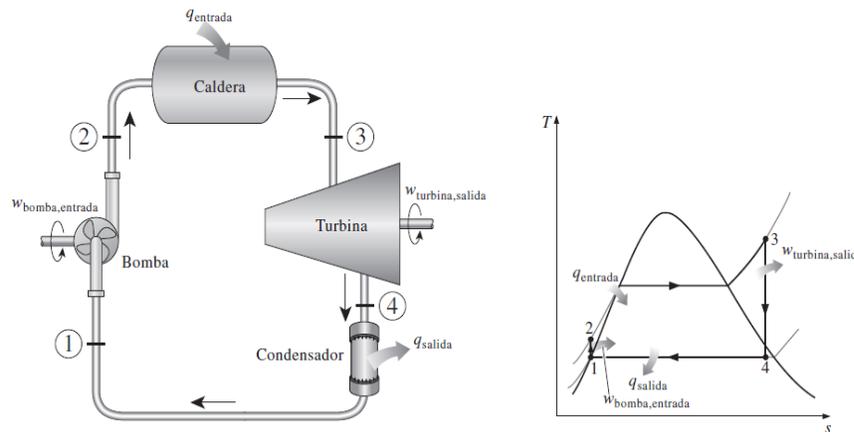


Figura 1: Ciclo Termodinámico de Rankine con Sobrecalentamiento.

Fuente:(Boles & Cengel, 2021).

2. Descripción de la Tecnología Adoptada

2.1. Planta Industrial

En este apartado, se realizará una descripción de la planta generadora y los equipos tanto principales como auxiliares que la componen.

Además de la nave de producción en sí misma, la planta cuenta con un patio de acopio de biomasa, playa de ingreso y egreso de camiones, una estación transformadora, una torre de enfriamiento, tanques de tratamiento de agua con su correspondiente equipamiento, y tanques de agua de reserva y de red de incendio.

La construcción de la central de generación se realizará en un terreno provisto por el Ente Mixto de Administración del Parque Industrial (EMAPI) de la ciudad de Concordia, el cual cuenta con una superficie de 7200 m² (60m x 120m), y se entregará en calidad de comodato de acuerdo a un contrato específico a suscribirse entre las partes.

La infraestructura será llevada a cabo por una empresa especializada en proyectos de

similares características.

El área donde se instalará la central deberá encontrarse libre de contaminación y libre de obstáculos superficiales o subterráneos antes del comienzo de la obra, lo cual se encuentra garantizado, ya que, el EMAPI se encarga de esta función, realizando la evaluación y estudio de impacto ambiental correspondiente.

Durante la construcción y posterior operación de la central, se deberá dar estricto cumplimiento a las normas legales pertinentes, y a las normas específicas sobre la seguridad de las personas y los bienes, y la preservación del medio ambiente.

Como se mencionó anteriormente, la central se emplazará en el Parque Industrial de Concordia, uno de los tres mejores parques industriales de la provincia, que además desde el punto de vista estratégico, se localiza en el centro del corredor del MERCOSUR, que está a solo 2 kilómetros de la Ruta Nacional 14. El parque cuenta con un predio de 147,5 ha.

Dentro de las razones por las cuales se ha seleccionado esta ubicación encontramos:

- Transferencia a título gratuito del predio donde se instale la planta, quedando exento los costos propios de infraestructura e inversiones en equipamientos.
- Red de agua potable.
- Sistema contra incendios.
- Red colectora Cloacal Industrial.
- Planta de Tratamiento de Efluentes.
- Alumbrado Público.
- Servicio de Teléfono e Internet.
- Gas Natural.
- Posibilidad de captación de agua subterránea mediante perforaciones, la cual será

necesaria para el proceso.

- Cercanía del predio al Alimentador y a la Salida perteneciente a la Cooperativa Eléctrica, lo que nos permitirá conectarnos al Sistema Interconectado Nacional y vender la energía generada a CAMMESA.

2.2. Nave Productiva

El diseño y la instalación de la planta como se mencionó anteriormente se llevará a cabo en una parcela perteneciente al parque industrial, la superficie destinada para la nave de producción es de 600 m² (20 m x 30 m), considerando la disposición de los equipos principales y auxiliares y la circulación de los empleados dentro de la misma. También se destinaron espacios para la oficina, laboratorio, cafetería, baños, hall de acceso, sala de control y sala de máquinas.

Para realizar dicha disposición, empresas de la misma índole suelen optar por las siguientes variantes:

Modalidad de entrega “llave en mano”, en donde la empresa construye la planta en su totalidad, desarrollando el circuito de alimentación del combustible, instalando los equipos principales y los auxiliares, y dejando la central lista para su puesta en marcha.

La otra modalidad y la utilizada por el proyecto, consiste en tener sólo asesoramiento técnico en algunas áreas por parte de una empresa especializada (ejemplo, el interconexión de las cañerías, montaje del sistema SCADA, etc.).

En el caso del proyecto el asesoramiento será provisto por una empresa nacional, quedando exento el diseño del lay-out y la selección de los equipos por parte de esta, ya que el diseño y selección son propios.

De esta manera se disminuyen costos al decidir sobre la selección de los equipos, se logra

un conocimiento en profundidad del funcionamiento de la central, y además otra cuestión, no menos importante es que se fomenta a la industria nacional gracias a que se pueden elegir equipos de proveedores locales.

A continuación, se aprecia el esquema del proceso productivo que se lleva a cabo:



Figura 2: Esquema de Funcionamiento de una Central Térmica a base de Biomasa.

En el esquema se aprecian los componentes del ciclo de Rankine que se encuentran dentro de la nave de producción (Bomba, Caldera, Turbina, Generador, Condensador), la torre de refrigeración y la estación transformadora, estos últimos externos a la misma.

2.2.1. Caldera

La caldera es el dispositivo donde se produce el calor a través de la combustión de la biomasa para generar el vapor requerido por el ciclo. Al utilizar como combustible la biomasa se reduce la contaminación al medio ambiente y se aprovechan residuos de un proceso productivo anterior, evitando de esta manera la acumulación de éstos en sitios, impidiendo su descomposición y los posibles incendios asociados.

Teniendo en cuenta el tipo de combustible que se quema en el hogar, y la presión y temperatura de vapor soportadas por la turbina, se optó por una caldera acuotubular de circulación natural con tubos verticales. En este tipo de caldera, el agua circula a través de los tubos que envuelven a los gases de combustión.

La biomasa almacenada se llevará, mediante una cinta transportadora a la parrilla de la caldera, en la cual tendrá lugar la combustión de la misma, obteniéndose así el calor necesario que será entregado al fluido del ciclo. Este proceso de alimentación es continuo, y se necesitan de 8,08 t/h de chips de madera.

Es importante en esta etapa, para una correcta combustión de la biomasa, llevar a cabo un adecuado control del comburente utilizado.

En este proceso de combustión se genera aproximadamente un 2% de cenizas, las cuales caen sobre un cenicero general para su posterior extracción. Estas cenizas obtenidas serán utilizadas como fertilizantes para suelos debido a sus propiedades.

Los gases residuales o humos, producto de la vaporización del agua en la caldera, son aprovechados por el proyecto en el economizador y en el calentador de aire para incrementar así el rendimiento del ciclo. Luego, estos pasan a la chimenea donde se localizan los filtros de mangas, que actúan como barrera al paso de particulado sólido, como lo son las cenizas, antes de ser liberados al ambiente. En estos se retiene aproximadamente el 98 % del particulado.

La caldera será provista por una empresa nacional, fomentando así nuestra industria. La misma cuenta con experiencia en varios proyectos de índole similar en nuestro país, y además brinda un excelente asesoramiento post – venta, lo cual es fundamental en cualquier tipo de proyecto.

Otro punto a favor de trabajar en conjunto con una empresa local, es la facilidad de la puesta

a disposición del equipo en la central, teniendo beneficios desde el punto vista tanto logístico como económico, ya que la caldera es uno de los equipos más costosos y de mayor porte de la instalación.

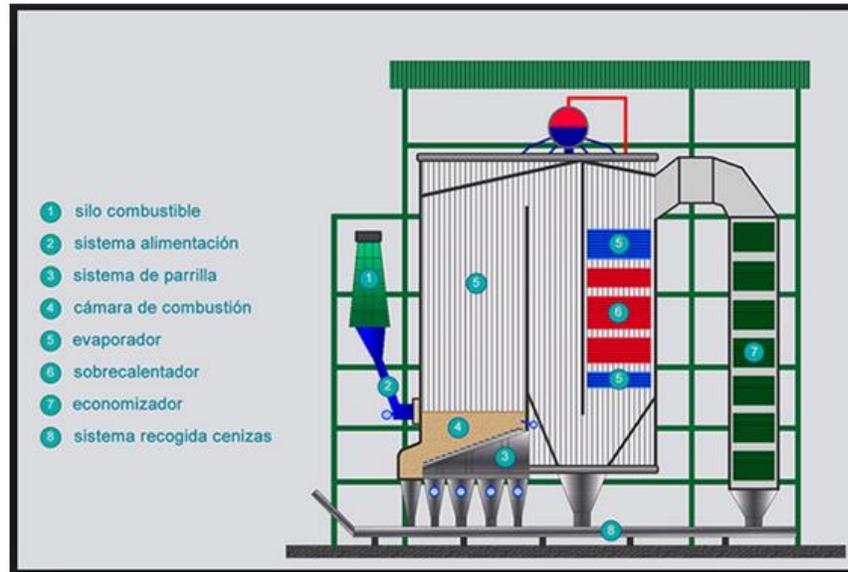


Figura 3: Esquema Caldera Acuotubular, tipo MONODRUM.

Los valores de funcionamiento adoptados para la caldera, los cuales se encuentran justificados en el capítulo Memoria de Cálculo - “Ciclo Rankine: cálculo y selección de equipos” del proyecto, se muestran a continuación:

CALDERA	
PRESIÓN DE TRABAJO [bar]	45
PRODUCCIÓN DE VAPOR [t/h]	24,47
TEMPERATURA VAPOR SOBRECALENTADO [°C]	450
TIPO COMBUSTIBLE	BIOMASA
CONSUMO DE COMBUSTIBLE [t/h]	8,08
RENDIMIENTO	0,87

Tabla 1: Valores de Funcionamiento de la Caldera.

El agua utilizada para el ciclo proviene de fuentes subterráneas, y contiene un cierto grado de impurezas, las cuales pueden producir daños tanto en la caldera como en la turbina, por lo que es necesario realizar un tratamiento previo, donde se eliminen las mismas, para que pueda ingresar a la caldera en condiciones que no pongan en riesgo su operación o disminuyan su vida útil.

Cabe aclarar que, según la experiencia de empresas ya instaladas en el predio, el agua que se extrae de pozo cuenta con bajos niveles de impurezas, con lo cual no necesita de una etapa de clarificación y sedimentación. Desde el bombeo pasa directamente por filtros para retener coloides o barros, luego a los pasos de la ósmosis inversa, y finalmente a una EDI (Electrodesionización), para obtener agua desmineralizada.

Estas impurezas se pueden clasificar en:

- Partículas en suspensión.
- Materia orgánica.
- Sales disueltas.

Para cuantificar la calidad del agua se emplean algunos indicadores, como lo son, el Índice de Turbidez (EDS), cuya unidad de medida es $[ppm]$, en el caso de los sólidos en suspensión; y para las sales disueltas, la conductividad eléctrica medida en $\left[\frac{\mu S}{cm}\right]$, ya que, ésta es proporcional a la cantidad de iones de soluto.

Estos análisis se llevarán a cabo en el laboratorio de la central, y así de esa manera se validará la calidad del agua, lo cual es fundamental para una correcta operación de los principales equipos del ciclo.

Para lograr la calidad de agua adecuada, la misma se someterá a tres procesos definidos:

- Pre-tratamiento: debido a la calidad del agua extraída, en este paso sólo se realizará un filtrado de la misma, a través de Filtros Bolsa, no siendo necesario el agregado de floculantes e hipoclorito sódico para eliminar sustancia en suspensión y/o materiales orgánicos.
- Desmineralización: para eliminar sales disueltas. En la misma se empleará el método de Ósmosis Inversa, en dos pasos, lográndose una conductividad eléctrica baja.
- Afino: para conseguir un valor adecuado de conductividad, a través de tratamiento químico. El sistema utilizado será el de celdas de electrodesionización, el cual mediante una corriente eléctrica produce la regeneración de las resinas.

2.2.2. Turbina de Vapor

Es el equipo más importante del ciclo, considerando que el objetivo principal es aprovechar el trabajo mecánico de rotación que se produce en ella, para convertirlo en energía eléctrica en el generador que tiene acoplado a su eje.

La turbina de vapor transforma la energía potencial térmica, dada por la diferencia de entalpías, entre el estado inicial del vapor a la entrada de la turbina y su estado final a la salida de la misma, en energía mecánica.

Para el proyecto se optó por una turbina de flujo axial, comúnmente utilizada en centrales termoeléctricas. En ellas, el vapor se expande a su paso a través de una serie de álabes fijos, que se encuentran fijos en la carcasa y de una serie de álabes móviles, los cuales están montados en su eje.

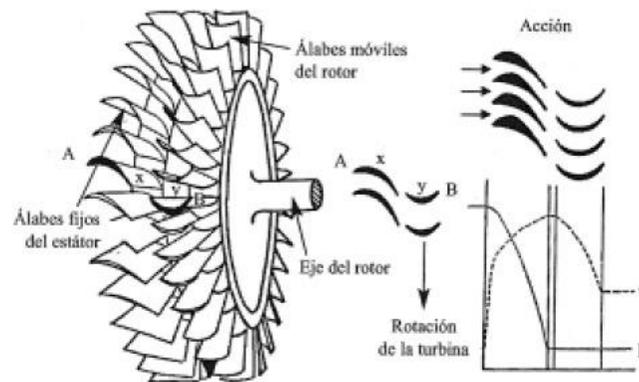


Figura 4: Esquema escalonamiento de Acción.

En nuestro caso, debido a los requerimientos técnicos necesarios para producir los 4,5 MW de potencia eléctrica, se necesita una turbina que produzca 5 MW de salida, para ello se seleccionó una turbina de acción de tipo de condensación, que cumple con estos requerimientos.



Figura 5: Turbina de Vapor de Acción – Línea TMC.

Principio de funcionamiento de una turbina de vapor de acción

Las turbinas de vapor de acción son aquellas en donde el salto entálpico se transforma totalmente (acción) en energía cinética. Para ello consta de un distribuidor fijo compuesto por

toberas, cuya misión es transformar la energía térmica del vapor en energía cinética, y una corona móvil, la cual se encuentra fija sobre el eje, cuyos álabes móviles, tienen como objetivo, transformar la energía cinética puesta a su disposición en mecánica de rotación.

Si el vapor al abandonar la corona móvil aún posee cierta energía cinética se puede usar posteriormente mediante un distribuidor de álabes fijos, para actuar sobre una segunda corona, lográndose así una turbina de acción con escalonamientos de velocidad.

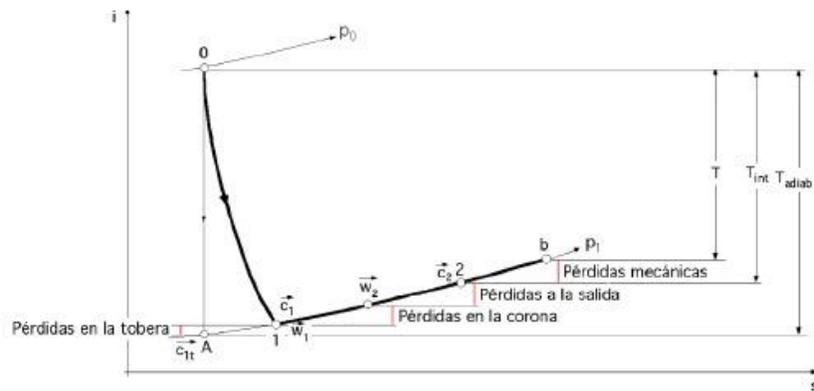


Figura 6: Diagrama i-s Turbina de Acción con Escalonamiento de Velocidad.

La circulación del vapor tanto por la tobera como por la corona móvil es un proceso no isoentrópico, esto significa que hay pérdidas en ambos, como se aprecia en la Figura 6.

Las *pérdidas en la tobera* vienen dadas por dos factores principales: debido al rozamiento del vapor con las paredes; y por la formación de torbellinos, fugas de vapor entre la tobera y corona móvil y choques del vapor al ingreso de la tobera. Estas pérdidas se pueden resumir en un coeficiente de reducción de velocidad $\varphi < 1$.

Las *pérdidas en la corona* vienen dadas por tres factores principales: pérdidas por choque a la entrada del álabe móvil; pérdidas por rozamiento y por curvatura (la más significativa). Estas pérdidas se pueden resumir en un coeficiente de reducción de velocidad relativa $\psi \leq 1$.

Los valores de funcionamiento adoptados para la turbina, los cuales se encuentran desarrollados en el documento Memoria de Cálculo - “Ciclo Rankine: cálculo y selección de equipos” del proyecto, se muestra a continuación:

TURBINA DE VAPOR	
POTENCIA DE SALIDA [MW]	5
PRESIÓN DE ADMISIÓN [bar]	42,75
TEMPERATURA DE ADMISIÓN [°C]	440
RENDIMIENTO	0,82
PRESIÓN DE ESCAPE [bar]	0,1
VELOCIDAD DE SALIDAD DE CAJA REDUCTORA [rpm]	1500

Tabla 2: Valores de Funcionamiento de la Turbina.

2.2.3. Generador Sincrónico Trifásico

Para la transformación de la energía mecánica de rotación de la turbina, se utilizará un generador sincrónico trifásico de la marca WEG.

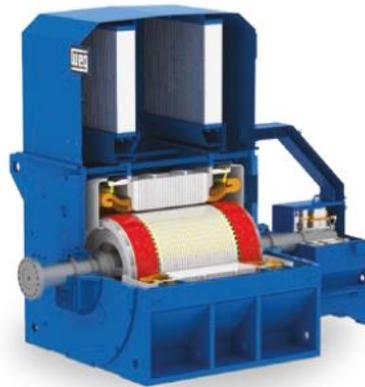


Figura 7: Generador Sincrónico Trifásico WEG, de la Línea ST40.

El generador sincrónico es una máquina, la cual tiene una velocidad de rotación que depende de la frecuencia del sistema. En el caso de nuestro país la frecuencia es de 50 Hz. Por lo

tanto, la velocidad del generador responderá a la siguiente ecuación:

$$n_r = (f_e * 120)/P \quad (1)$$

Donde:

- n_r : *Velocidad de rotación del generador [rpm].*
- f_e : *Frecuencia eléctrica del sistema [Hz].*
- P : *Número de polos de la máquina.*

El generador consta de dos partes principales: una parte móvil (Rotor), en la cual el bobinado inductor está alimentado por una corriente indirecta, produciendo así el campo magnético rotórico; y una parte fija (Estator), en la cual se encuentra el devanado inducido, que está formado por un arrollamiento trifásico que consta de tres bobinas que se encuentran dispuestas con un ángulo de 120° entre sí, en la cuales se inducirán tres fuerzas electromotrices desfasadas en 120° eléctricos.

El sistema de excitación es el encargado de inyectar la corriente directa necesaria al rotor, mediante una excitatriz principal rotativa de CA rectificadas, para producir el campo magnético en él. Debido a que el rotor gira a la velocidad de sincronismo, el campo magnético constante producido en el mismo, es visto por el bobinado estatórico, como un campo magnético variable. El cual provocará la aparición de una fuerza electromotriz inducida (fem) en el estator, dada por la Ley de Faraday – Lenz.

$$\varepsilon = -N * \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

Donde:

- ε : *Fuerza electromotriz [V].*
- N : *Número de espiras del bobinado estatórico.*
- ϕ : *Flujo magnético [Wb].*

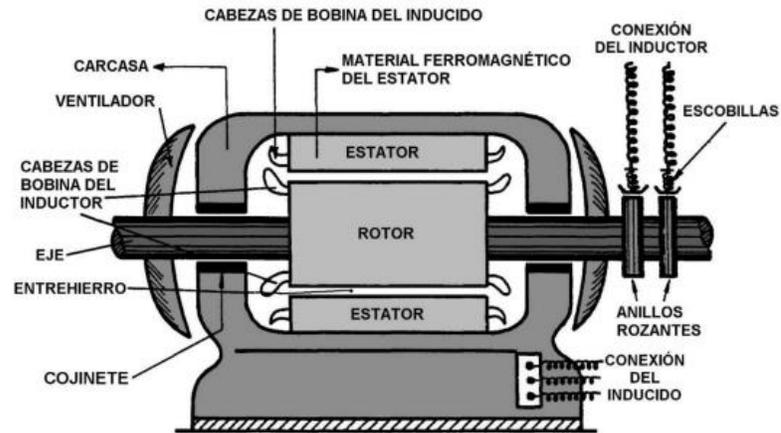


Figura 7: Componentes fundamentales de una máquina síncrona.

Cuando se conecta una carga en el estator de la máquina, el bobinado estatórico será recorrido por un sistema trifásico equilibrado de corrientes, el cual provocará la aparición de un campo magnético giratorio en el entrehierro, que también rota a la velocidad de sincronismo.

La frecuencia de la tensión generada por la máquina debe ser igual a la velocidad de sincronismo.

Como se mencionó la relación entre la velocidad de la máquina y la frecuencia del sistema está dada por (1). Por lo tanto, la frecuencia será:

$$f_e = (n_r * P)/120 \quad (3)$$

Debido a que la frecuencia está impuesta por el sistema en 50 Hz, la velocidad de rotación del generador dependerá de su número de polos.

En el caso de los turbogrupos, como el del proyecto, se caracterizan por contar con pocos polos y girar a altas velocidades. El número de polos suele ser dos o cuatro. El de la central tendrá:

$$P = 4$$

En consecuencia, la velocidad de rotación será por (1):

$$n_r = \frac{120 * 50 [Hz]}{4} = 1500 [rpm]$$

Existen dos diseños básicos de rotores en los generadores sincrónicos: de polos salientes y de rotor cilíndrico (polos lisos).

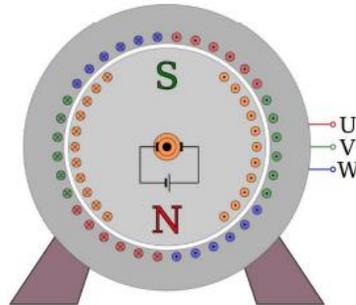


Figura 8: Rotor Cilíndrico de dos polos.

Estos utilizan rotores cilíndricos, que son de hierro macizo, lo cual le brinda buena resistencia mecánica, tiene diámetro pequeño y gran longitud axial.

Además del bobinado inductor, en el rotor se encuentra el bobinado amortiguador, el cual tiene como funciones principales: reducir los armónicos de la fem inducida y ayudar a la máquina a conservar la velocidad de sincronismo.

El generador en su funcionamiento tendrá pérdidas que se transformarán en calor y se traducirán en aumento de temperaturas, por lo tanto, es necesario contar con un sistema de refrigeración.

GENERADOR ELÉCTRICO	
POTENCIA NOMINAL [kW]	4750
TENSIÓN NOMINAL [kV]	11
NÚMERO DE FASES	3
NÚMERO DE POLOS	4
VELOCIDAD [rpm]	1500
FRECUENCIA [Hz]	50
COS φ	0,8

Tabla 3: Valores de Funcionamiento del Generador.**2.2.4. Sistema De Excitación**

El sistema de excitación es el encargado de suministrar la corriente de campo (corriente directa) al inductor de la máquina sincrónica. Además, deberá incluir un regulador automático de tensión (AVR) que le permitirá regular dicha corriente con el objeto de poder mantener la tensión de salida en bornes del generador dentro de ciertos valores adecuados.

También formarán parte del mismo: el interruptor de campo, el circuito de extinción de la energía de campo, la excitación inicial, el transformador de excitación, los puentes rectificadores controlados y los transformadores de medida.

A continuación, se presenta el esquema de funcionamiento básico de un sistema de excitación actual:

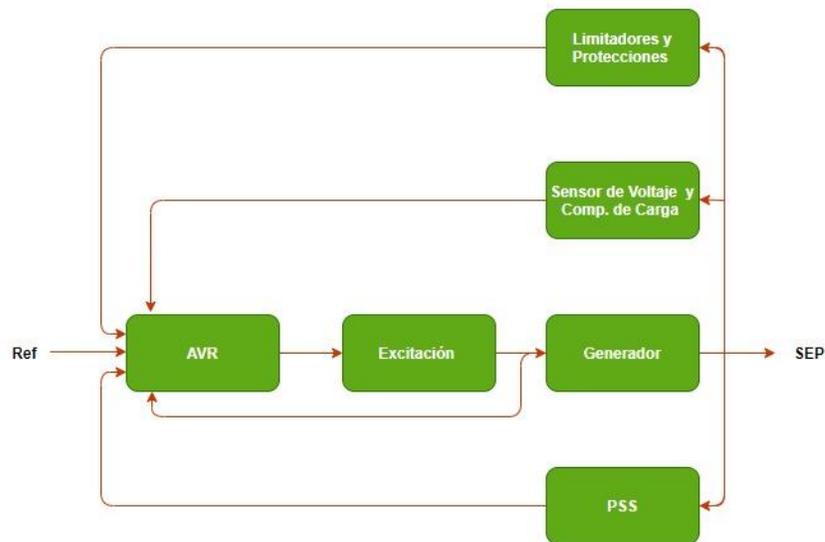


Figura 9: Esquema de funcionamiento del sistema de excitación.

Tanto los Limitadores como el Estabilizador del Sistema de Potencia son bloques parametrizables del propio Regulador (AVR).

El sistema de excitación utilizado en la planta es del tipo Brushless (sin escobillas) con autoexcitación indirecta.

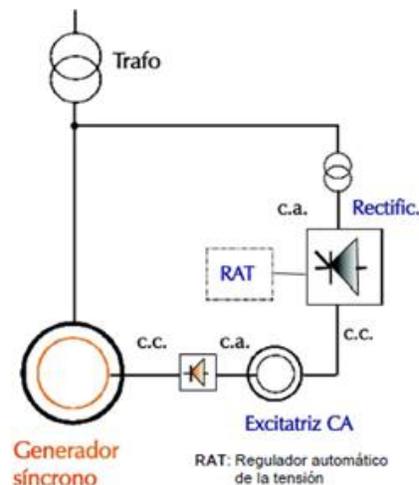


Figura 10: Esquema Excitación Brushless con autoexcitación indirecta.

Este tipo de excitación que ofrece WEG es del tipo Brushless sin Excitatriz Auxiliar (PMG), el circuito de potencia del regulador de tensión es alimentado a través del Transformador de Excitación conectado a los terminales del turbogenerador, y la I_f está regulada por el AVR que se encarga de controlar el ángulo de disparo de los tiristores (SCRs).

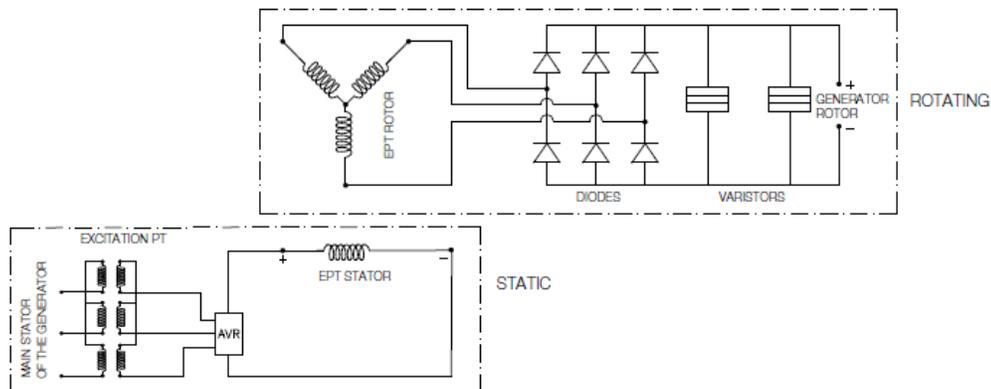


Figura 11: Circuito eléctrico interno del generador sin PMG.

El transformador de excitación se encontrará dentro de la caja de conexión del turbogenerador, ya que el fabricante ofrece esta opción de diseño, y la Excitatriz Principal Rotatoria se encontrará instalada en un compartimiento en la parte trasera del turbogenerador.

Tanto el AVR como el Rectificador serán redundantes, con el fin de tener una reserva caliente (Hot Stand By) para así reducir al mínimo la posibilidad de pérdida del servicio de la operación de la máquina.

Para el arranque se necesitará una fuente auxiliar de DC, en este caso se utilizará un Banco de Baterías.

La función de esta fuente auxiliar es la de suministrar una pequeña I_f inicial durante el inicio

de la excitación del generador.

Esta I_f inicial permanecerá por un pequeño lapso de tiempo del orden de los 5 a 10 segundos hasta alcanzar una tensión en bornes del generador de un 10 % la V_{nom} , a partir de ese momento el sistema de excitación se autoexcitará a través del transformador de excitación que como se mencionó está conectado a los bornes de la máquina, y el contactor de pre-excitación se abrirá.

En caso de no llegarse al 10 % de la V_{nom} en ese tiempo, se procederá a abrirse el contactor dando una alarma de falla de cebado de campo.

Funciones principales del sistema de excitación:

- Suministrar la I_f al inductor entre (0 - 110) %. $I_{f_{nom}}$.
- Regular la tensión en bornes del generador entre (90 - 110) %. V_{nom} .
- Mantener al generador operando dentro de la zona segura de la curva de capacidad.
- Compensar Potencia Reactiva Q para contribuir a la estabilidad del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP).
- Estabilizar las oscilaciones mecánicas de la turbina mediante el PSS.
- Proteger la máquina ante fallas de DC.

Regulador automático de tensión

El regulador de tensión (AVR) es el ‘cerebro’ del sistema de excitación, se optó por utilizar el UNITROL 1020 en su versión FULL +, de la empresa ABB, el cual es utilizado en empresas de la misma índole.

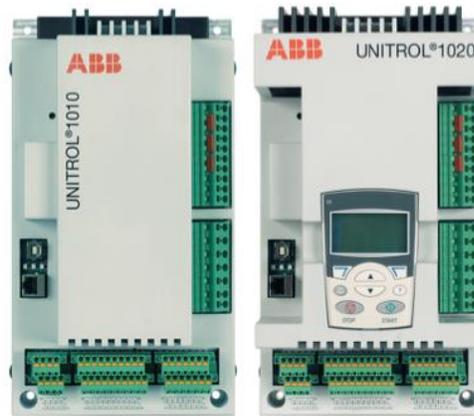


Figura 12: AVR UNITROL 1020 de ABB.

El mismo es un controlador digital del tipo PID, que se encargará de tomar la señal de entrada desde los transformadores de medición (TVs y TIs), y enviar las señales de control para modificar el ángulo de disparo de los tiristores.

En el siguiente diagrama de bloques se puede apreciar su conexión:

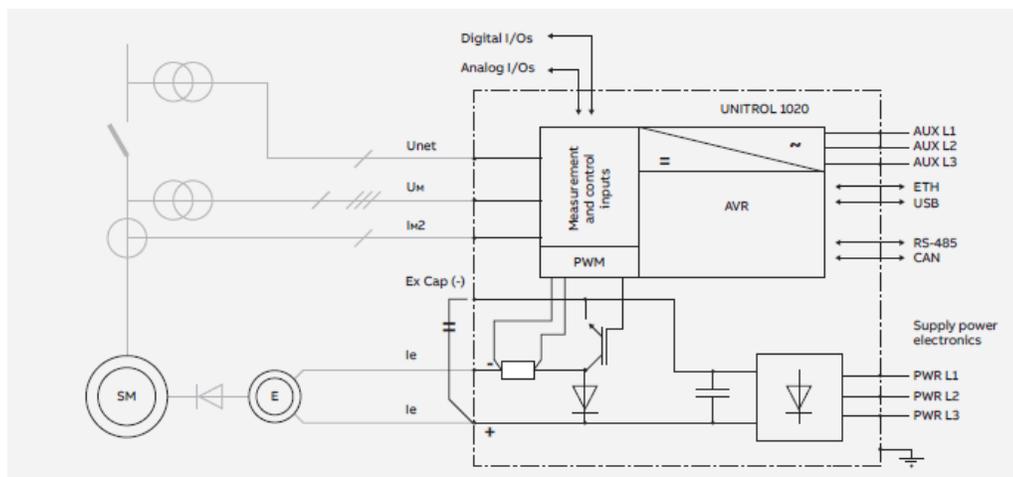


Figura 13: Diagrama de bloques de conexión del UNITROL 1020 de ABB.

Cuenta con dos modos de control totalmente independientes: un modo Manual y un modo Automático.

Modo manual

En este modo la variable controlada es la corriente de campo I_f . El operador ingresará la referencia DC de I_f , y se realimentará al Regulador DC la corriente de campo, pero no la tensión en bornes del generador V_ϕ , con lo cual, no será un modo operativo, sólo se usará durante mantenimientos y como respaldo del Modo Automático. Además, los Limitadores se encuentran deshabilitados en este modo, por lo tanto, se deberá tener mucho cuidado en caso de utilizarlo, ya que de realizar una operación incorrecta se podría ‘pinchar’ el aislamiento del bobinado de campo.

Modo automático

En este modo la variable controlada es la tensión de armadura V_ϕ . En este caso, si cuenta con realimentación desde los TVs de la V_ϕ , para intentar mantenerla en un valor deseado, modificando los ángulos de disparo de los tiristores, mediante las señales de control del AVR.

Según la carga conectada al generador operará en forma aislada o en paralelo con el sistema compensando Potencia Reactiva Q .

Operando en paralelo con el sistema, el Regulador AC cambiará su referencia primaria de tensión de armadura en función de las variaciones de Potencia Reactiva Q que haya en el sistema. La malla secundaria sólo estará habilitada con el generador operando en paralelo.

Limitadores

Internamente la lógica de control del regulador de tensión viene dada por bloques (rutinas de software) parametrizables, que se configuran para procurar que el generador opere dentro la zona segura de su curva de capacidad, la cual es brindada por el fabricante, en todo momento de su

operación.

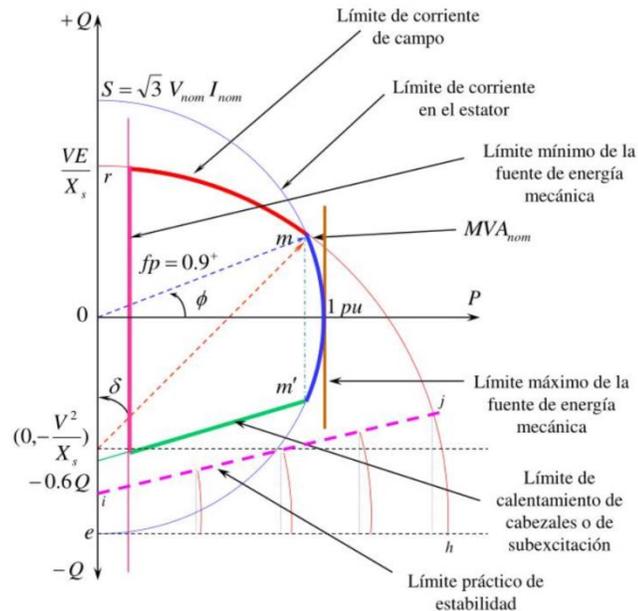


Figura 14: Curva de capacidad de un generador con rotor de polos lisos.

Con el fin de garantizar la operación estable y segura de la máquina síncrona, el UNITROL 1020 contará con los siguientes limitadores:

- Corriente de campo máxima $I_{f\text{máx}}$ (OEL)
- Corriente de campo mínima $I_{f\text{mín}}$ (MEL)
- Limitador de subexcitación P/Q
- Limitador de la corriente de estator $I_{a\text{máx}}$ (SCL)
- Limitador V/Hz

Limitador de corriente de campo máxima (OEL)

Este limitador cumple la función de proteger al rotor de sobrecalentamiento por efecto Joule

$$(I_f)^2 * R_f.$$

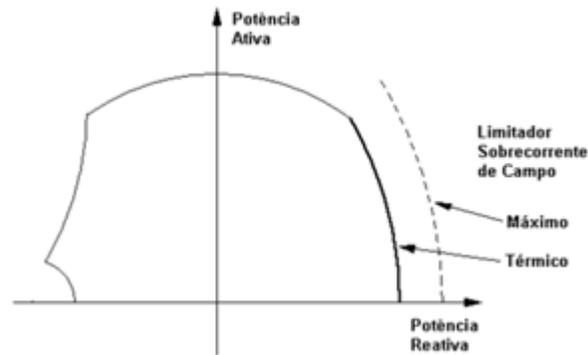


Figura 15: Acción del limitador OEL en la curva de capacidad.

Limitador de corriente de campo mínima (MEL)

Es un limitador de subexcitación, que tiene como función evitar la pérdida de excitación de la máquina. Si la corriente de campo I_f disminuye demasiado, podría ocurrir que el generador perdiera el sincronismo, y comenzara a operar como un generador de inducción, lo cual traería asociadas consecuencias no deseadas.

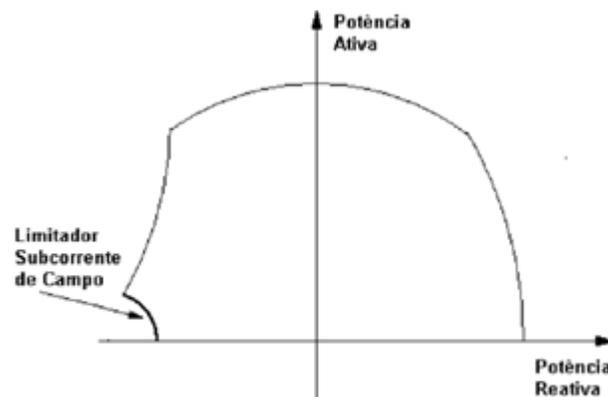


Figura 16: Acción del limitador MEL en la curva de capacidad.

Limitador P/Q

Es un limitador de subexcitación, que tiene como función impedir que el generador opere más allá del Límite de Estabilidad en el cuadrante II (Región de Subexcitación), para así evitar la pérdida de sincronismo de la máquina con el sistema.

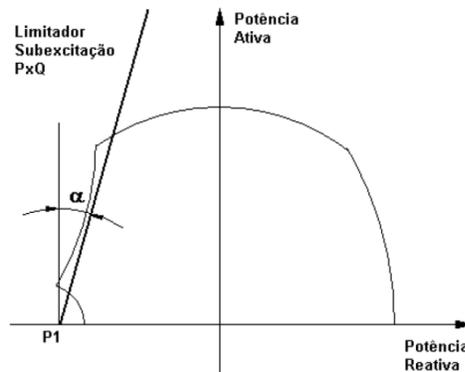


Figura 17: Acción del limitador P/Q en la curva de capacidad.

Limitador de corriente de armadura (SCL)

Este limitador previene el calentamiento excesivo del bobinado estatórico del generador, tanto en la región de subexcitación como en la de sobreexcitación.

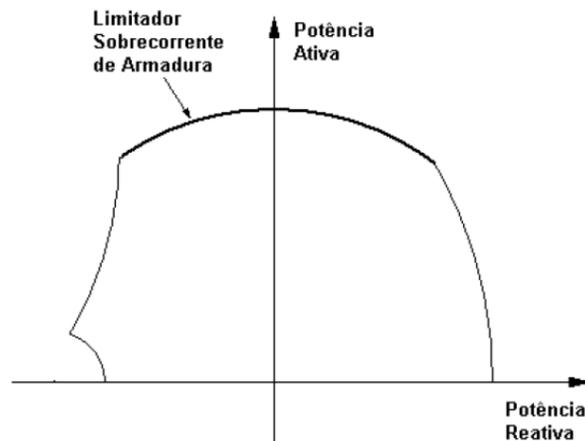


Figura 18: Acción del limitador SCL en la curva de capacidad.

Limitador de sobreflujo (V/Hz)

Este limitador tiene como objetivo evitar sobreflujos magnéticos en el generador, en caso de superarse el valor de V/Hz máximo.

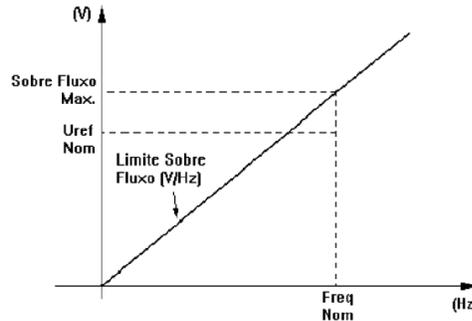


Figura 50 Acerca de Flow Limiter

Figura 19: Acción del Limitador V/Hz en la curva de capacidad.

Este limitador no aparece en la curva de capacidad, sino que mide la tensión de armadura y la velocidad de giro de la máquina, y las relaciona entre sí.

Descarga de la energía de campo

El proceso de extinción de la energía acumulada en el bobinado rotórico es fundamental considerarlo, ya que, de no ser tratado adecuadamente, se podría dañar tanto la aislación del bobinado de campo como los componentes del sistema de excitación.

Al abrirse el interruptor de campo, aparecen picos de tensión en el circuito de campo, debido a que el rotor es una gran bobina con una alta inductancia, a través de la cual circula una corriente directa, por lo tanto, su comportamiento vendrá dado por:

$$v_L = L * \frac{di}{dt} \quad (4)$$

Con lo cual, será necesario reducir los efectos de estas sobretensiones para disminuir los daños que se pudieran tener sobre el aislamiento del bobinado de campo.

Para ello se contará con tres componentes que actuando en conjunto tendrán la tarea de reducir estos efectos indeseados. Los componentes de la descarga serán los siguientes:

- Interruptor de campo: abrirá el circuito de corriente directa, aislando así la excitatriz del bobinado de campo.
- Resistencia de descarga: la misma será una resistencia alineal conectada a la salida del circuito de crowbar, y definirá la curva de descarga, como se puede apreciar en la figura (curva 2).

Se utilizan este tipo de resistencias para obtener una descarga más rápida, ya que tienen constantes de tiempo menores que las que poseen las resistencias lineales.

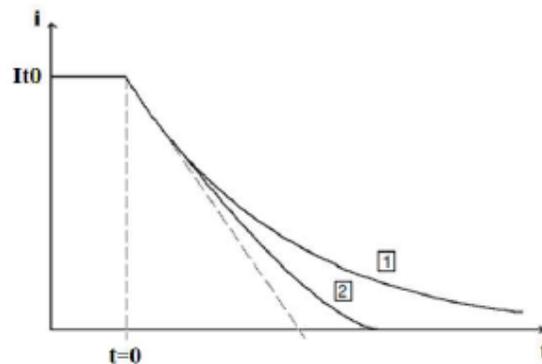


Figura 20: Efectos de resistencia lineal y alineal sobre la descarga de campo.

- Circuito de Crowbar: este circuito actuará como protección frente a sobretensiones.

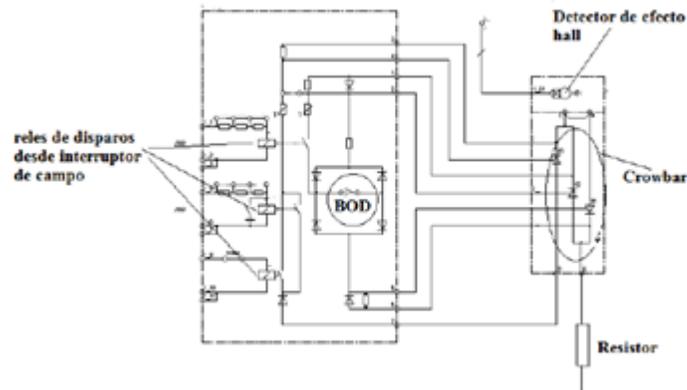


Figura 21: Circuito clásico de un crowbar.

Funcionamiento

Si se detectan sobretensiones que superen el umbral del elemento semiconductor BOD, éste mediante la disposición de resistencias que tiene asociadas, generará un pulso para producir el disparo de los tiristores del Crowbar, habilitando el camino de descarga para la sobretensión a través de la Resistencia de Descarga.

Además, se produce un fenómeno físico que aparece en los circuitos que poseen una gran inductancia, que colaborará con el proceso de extinción sólo operando con el ángulo de disparo de los SCRs, en valores superiores a los 90° . Este fenómeno se conoce como fenómeno de inversión.

Relé de Falla a Tierra Rotórica

Otro componente del sistema de excitación será el Relé de Protección de Falla a Tierra Rotórica. El cual tendrá como función detectar los contactos a tierra del bobinado.

La primera falla a tierra en el bobinado del rotor no será crítica, sólo asignará una referencia a la fuente de tensión de campo externa, pero si lo será una segunda falla a tierra, ésta provocará un cortocircuito en una parte del bobinado, lo que traerá como consecuencia la

aparición de desbalances magnéticos en el flujo del entrehierro ϕ_{EH} , lo cual originará fuerzas magnéticas desequilibradas que finalmente se traducirán en vibraciones. Éstas pueden llegar a ser lo suficientemente considerables como para desplazar el rotor de su eje ocasionando grandes daños mecánicos. Además de las vibraciones, en caso de producirse un cortocircuito, aparecerán sobrecorrientes rotóricas muy peligrosas que podrían causar daños graves.

Para detectar este primer contacto a tierra del bobinado de campo, se utilizará el Relé de Falla a Tierra Rotórica 64F. El esquema de detección adoptado será el de Puente de Wheatstone (circuito RLC). Según qué tan considerable sea la puesta a tierra, el mismo emitirá una señal de Alarma o Disparo.

2.2.5. Sincronizador

Para que el generador pueda conectarse en paralelo con el SEP, deberá satisfacer las *condiciones de paralelismo*, de lo contrario se ocasionarán efectos dañinos para la máquina.

Estas condiciones son las siguientes:

- Misma amplitud de las tensiones.
- Misma frecuencia.
- Mismas fases.

Para realizar la función de sincronización automática del turbogenerador con el sistema, se utilizará el SYNCHROACT 5 de la empresa suiza ABB.



Figura 22: SYNCHROTRACT 5 de ABB.

Se puede apreciar en la Figura 23 la conexión del sincronizador digital tanto con los sensores de tensión, como con el Regulador de Tensión (AVR) del generador y el Regulador de Velocidad (TR) de la turbina de vapor.

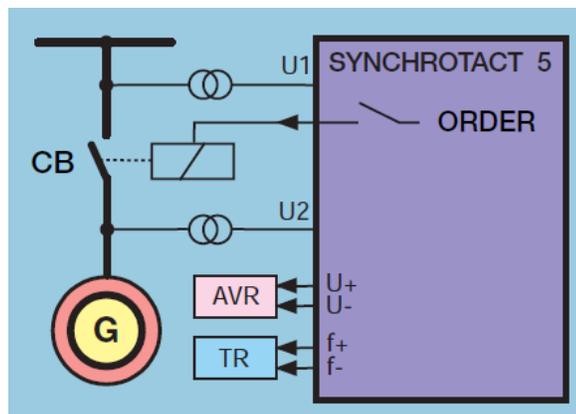


Figura 23: SYNCHROTRACT 5 para la puesta en paralelo del turbogenerador.

Modos de sincronización

La función de sincronización cuenta con dos modos de operación que se esquematizan en la Figura 24.

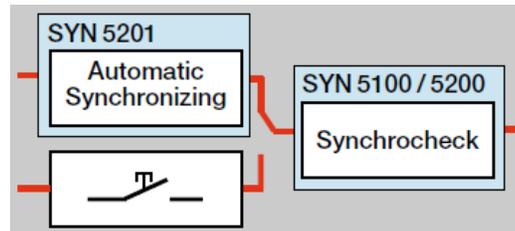


Figura 24: Canal dual del SYNCHROACT 5.

Modo automático

En este modo, el SYNCHROACT 5 realizará las tareas de ajuste de V_{ϕ} de salida del generador y de la velocidad de la máquina $f_{máq}$ enviando pulsos digitales de aumento/reducción de las referencias de tensión y frecuencia, tanto al AVR como al regulador de velocidad (TR), para así poder cumplir con las condiciones de paralelismo antes mencionadas, luego comparará estas magnitudes con las del sistema V_{sist} y f_{sist} , y cuando estén dadas las condiciones adecuadas, enviará el comando de cierre al interruptor de máquina.

Para realizar los ajustes, el sincronizador posee dos métodos de ajuste:

- Variando el ANCHO DE PULSO:

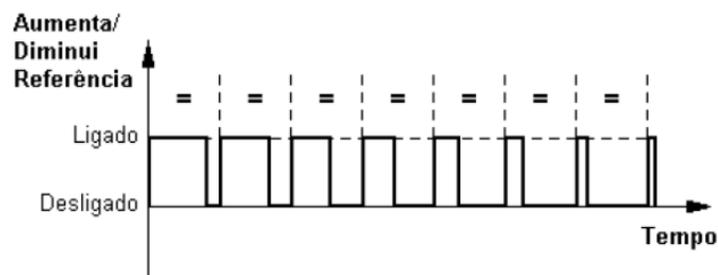


Figura 25: Método de ajuste por variación del ancho de pulso.

- Variando el TIEMPO ENTRE PULSOS:

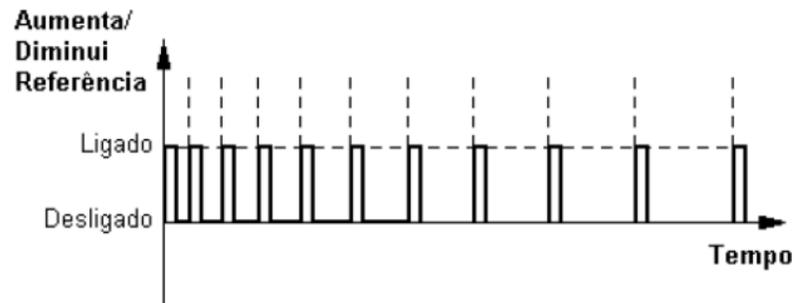


Figura 26: Método de ajuste por variación del ancho de pulso.

Modo manual

En este modo, el operador será quien realice los ajustes de V_{ϕ} y $f_{m\acute{a}q}$, dando las ordenes tanto al AVR como al regulador de velocidad, y la función de sincronización “synchrocheck” hará el chequeo de las condiciones, luego al darse la concordancia de fases se enviará la orden de cierre al interruptor de máquina.

Independientemente del modo con el que se esté operando, el SYNCHROTECT 5 será el encargado de permitir el cierre del interruptor. Ésta es una tarea exclusiva del sincronizador, por lo tanto, si por alguna razón fallara, el generador no podría entrar al sistema.

2.2.6. Sistema de Regulación de Velocidad

Tendrá como objetivo fundamental actuar sobre los órganos de admisión de vapor a las turbinas, para poder producir cambios en la velocidad de la máquina $n_{m\acute{a}q}$ [rpm] sí el generador está operando en vacío, o en la $P_{entregada}$ [MW] sí está operando en paralelo con el sistema.

El sistema de regulación de velocidad, será del tipo electrónico-mecánico-hidráulico y

constará de tres elementos principales: los sensores (velocidad/carga), el elemento de control y el amplificador de potencia, es decir tendrá dos partes fundamentales, la electrónica de control y la de potencia oleo-hidráulica.

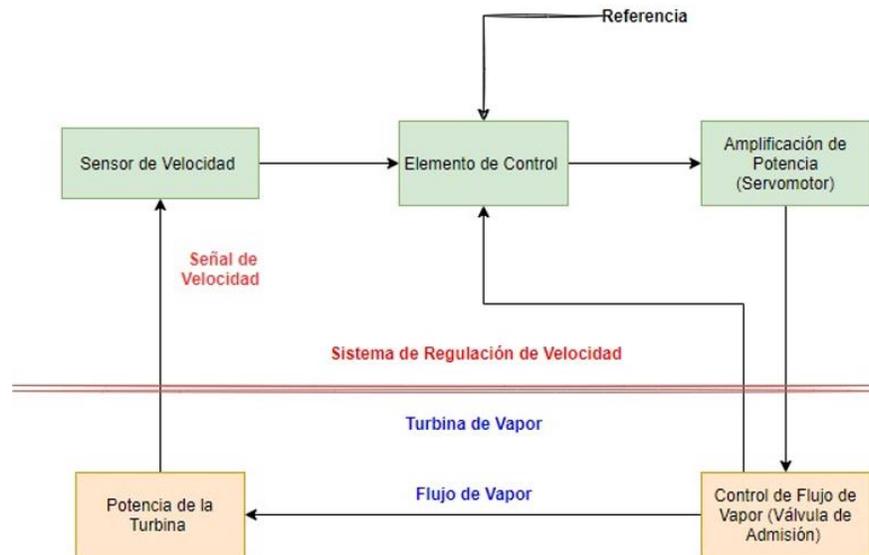


Figura 27: Diagrama de bloques del sistema de regulación de velocidad.

Funcionamiento

El sensor de velocidad inductivo MPU se encargará de medir la $n_{m\grave{a}q}$ [rpm], ó bien con los transductores de potencia se medirá la $P_{entregada}$ [MW], y entregarán una señal proporcional a estas magnitudes, las cuales serán la señal de entrada del WOODWARD 505. El controlador digital comparará esta señal con la referencia n_{sinc} [rpm], y en función del error, generará una señal de control en 4-20 [mA] que se transformará en un flujo de aceite a presión, el cual provendrá desde el Sistema de Aceite a Presión, para producir el desplazamiento de los servomotores (actuadores WOODWARD VARISTROKE II) que abren/cierran el órgano de admisión, el cual permitirá el paso de la energía primaria (en el caso del proyecto, vapor) a la

turbina para lograr el ajuste al valor deseado.

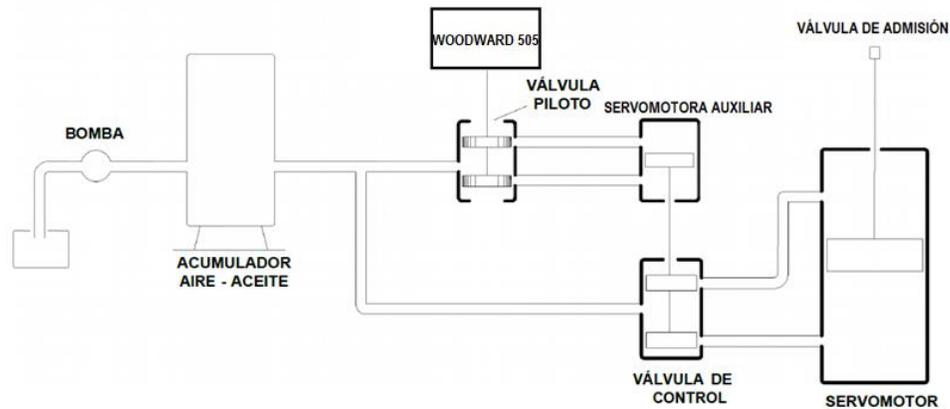


Figura 28: Esquema genérico parte mecánica – hidráulica del sistema de regulación de velocidad.

NOTA: En la figura no se encuentran representadas las realimentaciones correspondientes.



Figura 29: Actuador lineal electro – hidráulico WOODWARD Varistroke II.

La fuerza necesaria para desplazar el spool de la válvula de control principal, se logrará gracias a la válvula piloto (en el caso del proyecto, es una servo-válvula) la cual requiere pequeñas presiones de aceite para su operación, debido a esto el conjunto se denomina

amplificador de potencia.

Todas las válvulas de la parte mecánico-hidráulica tendrán realimentación hacia el regulador, con el fin de asegurar la estabilidad del sistema de control. Para ello se utilizarán sensores de posición del tipo magneto-restrictivos MLVDTs.



Figura 30: Sensor de posición Magneto – Restrictivo.

El regulador de velocidad (gobernador) utilizado en el proyecto será el regulador 505 de la empresa estadounidense WOODWARD de tipo digital microprocesado.



Figura 31: Regulador de velocidad digital 505 WOODWARD.

El regulador entregará una señal de salida de 4-20 [mA] que será tomada por la válvula piloto MOOG, y realizará las acciones de control que correspondan para lograr el cumplimiento de la consigna, ya sea de velocidad en el *modo de regulación de velocidad* o de potencia en el *modo de regulación de potencia/frecuencia*.

Operando en el modo de regulación de potencia/frecuencia, ante variaciones en el balance generación – demanda del sistema, la f_{sist} sufrirá desvíos respecto de los 50 Hz, lo cual se verá reflejado en variaciones de la velocidad $n_{máq}$ [rpm] del turbogruppo.

La curva de estatismo, la cual, es una característica propia del regulador, definirá como responderá el regulador de velocidad, a través de la apertura de la válvula de admisión ante cada desviación que sufra la máquina respecto de su velocidad nominal.

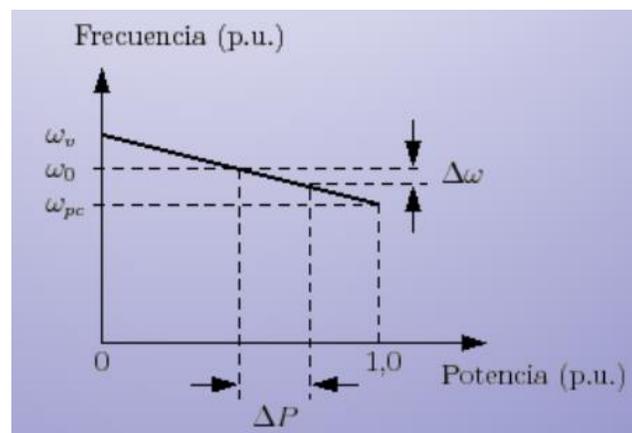


Figura 32: Curva de estatismo de un regulador de velocidad.

En otras palabras, el estatismo que tenga configurado el regulador de velocidad, definirá en que porcentaje de potencia activa $P_{entregada}$ [MW] aportará el turbogenerador al sistema ante las perturbaciones que pueda sufrir el mismo, para así, responder rápidamente con el fin de contribuir a la estabilidad del sistema. En el regulador 505 se puede configurar su estatismo entre

0 y 10 %.

Según el Procedimiento N° 4 - Capítulo II: “Ingreso de nuevos generadores, autogeneradores y cogeneradores al MEM” de CAMMESA, será requisito para participar en la RPF del SADI, que el turbogenerador de la central tenga configurado su estatismo entre un 4 % y un 7 %. Esta característica será fundamental en la Regulación Primaria de Frecuencia, la cual, todos los generadores del sistema están obligados a llevar a cabo.

En el caso de nuestro país, CAMMESA obliga a todos los generadores del SADI a colaborar en la RPF con un 3% de su generación horaria programada.

2.2.7. Condensador

En el caso del proyecto, al utilizar vapor como energía primaria para la generación, es necesario condensarlo luego de que sale de la turbina, para así obtener resultados favorables, económicamente hablando, ya que permite la reutilización del agua, para comenzar nuevamente el ciclo, regresándola por medio de bombeo, y elevando su presión, como agua de alimentación a la caldera de la central. Además, se logra el incremento del rendimiento del ciclo, gracias al aumento en el salto entálpico que se produce entre la presión de vapor de entrada y salida de la turbina, debido al vacío que se forma dentro del condensador al reducir el volumen específico del agua al condensarla.

Para realizar este proceso se utilizará un condensador de la empresa india MAZDA Limited, del tipo de tubos y carcasa.

Estará ubicado por debajo de la turbina para lograr un incremento del salto entálpico e impedir el ingreso de aire, recibiendo el vapor húmedo por su parte superior, y extrayendo el condensado por su parte inferior.

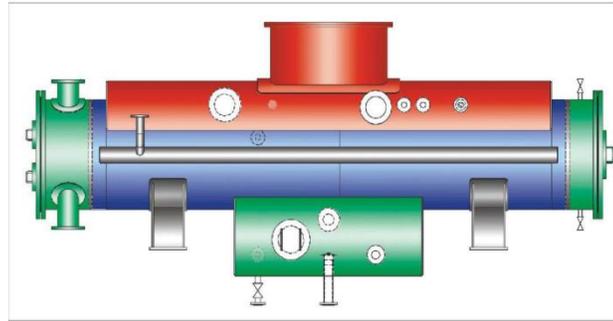


Figura 33: Condensador de carcasa y tubos MAZDA Limited.

Funcionamiento

El vapor húmedo a la salida de la turbina ingresa, y circula a través de los tubos en flujo cruzado, el vapor condensa sobre la superficie de los tubos, y cae por gravedad hacia el pozo caliente donde el agua es extraída por la bomba de condensado, y enviada nuevamente hacia la caldera.

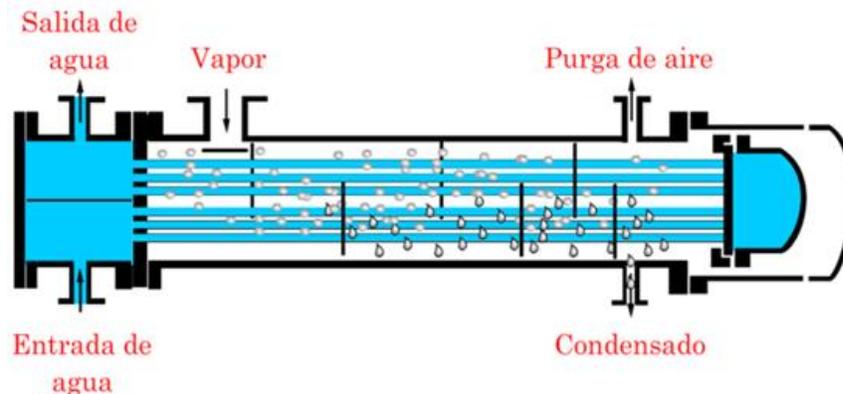


Figura 34: Esquema condensador de tubos y carcasa.

Para la extracción del vapor, se requiere de una fuente de agua abundante. En el caso particular de nuestro proyecto, al no contar con la cercanía de una fuente de agua superficial, se

utilizará un circuito cerrado de agua con torres de enfriamiento, que mediante el aire del ambiente logran enfriar el agua de recirculación.

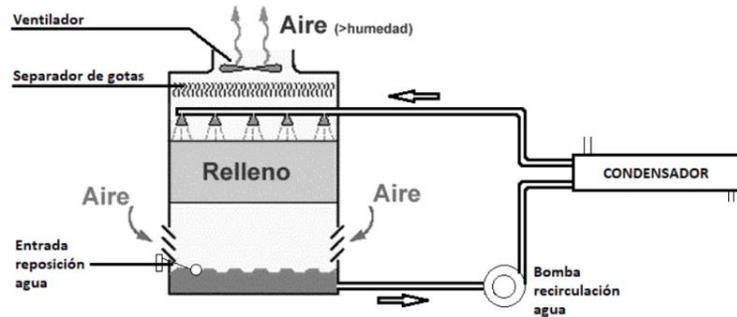


Figura 35: Sistema de refrigeración cerrado.

El agua utilizada para el funcionamiento de la planta, tanto el agua de caldera como el agua de aporte para el sistema de refrigeración, será extraída de pozo por medio de una perforación.

El agua que se obtendrá cuenta con una calidad relativamente buena, pero sin embargo se le realizará un tratamiento de ósmosis inversa de doble paso, con el fin de obtener niveles de calidad de agua aceptables para el proceso.

CONDENSADOR	
POTENCIA A DISIPAR [MW]	14,91
PRESIÓN DE TRABAJO [bar]	0,1
SALTO TÉRMICO [°C]	10
TEMPERATURA AGUA DE ENTRADA [°C]	25
TEMPERATURA AGUA DE SALIDA [°C]	35
CAUDAL DE RECIRCULACIÓN [m3/h]	1287,29
MATERIAL TUBOS CONDENSADOR	ACERO INOXIDABLE (SS)

Tabla 4: Valores de Funcionamiento del Condensador.

2.2.8. Torres de Enfriamiento

Las torres de refrigeración son equipos que basan su funcionamiento en el principio del enfriamiento evaporativo, encargándose de refrigerar el agua de condensación, mediante un proceso natural que insume agua como refrigerante, liberando a la atmósfera el calor excedente del proceso y devolviendo el agua al circuito con la temperatura adecuada para realizar correctamente el ciclo.

Para que el proceso sea efectivo se requiere una corriente de aire proveniente del exterior en el intercambiador, que al ponerse en contacto con el agua de circulación permita disminuir la temperatura de la misma con ayuda de un ventilador que aspira el aire a contracorriente del agua, resultando en la evaporación de parte de la misma. Constituye de esta manera una tecnología amigable con el ambiente, dado a que utiliza un recurso natural, como lo es el agua, favoreciendo la reducción en su consumo y un aprovechamiento eficiente.

Las torres de refrigeración empleadas en la central de generación serán de la empresa nacional Tecno Tower, del tipo MODULAR con tiro inducido:



Figura 36: Torres de enfriamiento modular Tecno Tower.

En las torres de tiro inducido el aire requerido para el enfriamiento se succiona por medio de un ventilador localizado en la parte superior de la torre como se puede apreciar en la Figura 37.

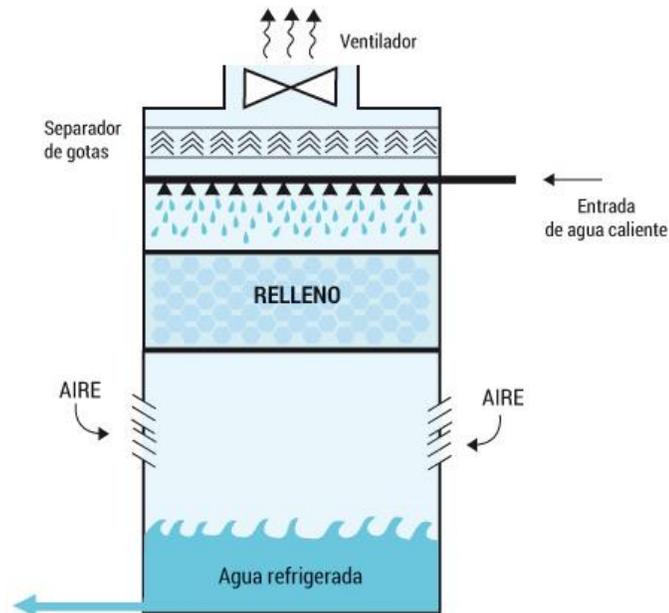
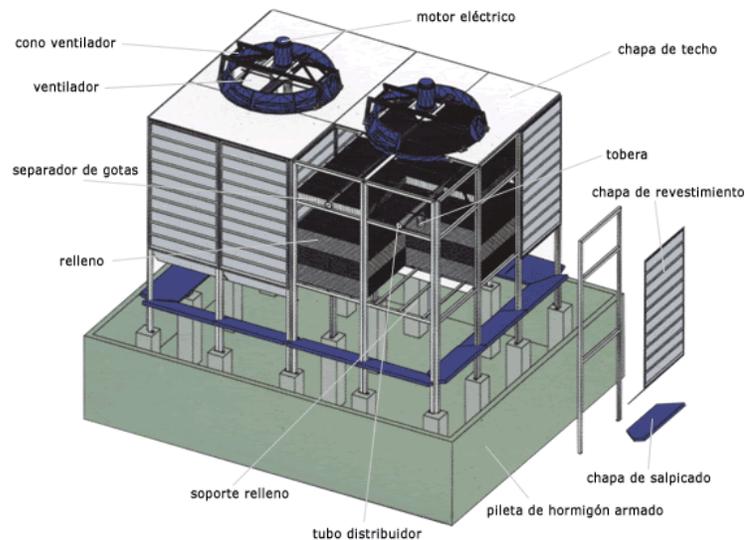


Figura 37: Torres de enfriamiento con tiro inducido.

Como se mencionó en el caso particular del proyecto al no contar con una fuente superficial de agua (río, lago), es necesario extraer agua de pozo y contar con torres de enfriamiento a las cuales habrá que suministrarles $25,75 \frac{m^3}{h}$ de agua de reposición (agua desmineralizada). El cálculo de dicho caudal se encuentra en el documento Memoria de Cálculo - “Ciclo Rankine: cálculos y selección de equipos”.

Componentes de las Torres de Refrigeración**Figura 38:** Torres de enfriamiento modular Tecno Tower.

Los elementos básicos que componen a la torre de enfriamiento son:

- Balsa o bandeja de goteo: depósito inferior donde se acumula el agua condensada, una vez atravesado el proceso de enfriamiento.
- Relleno: material utilizado como superficie de intercambio de calor, que permite el mayor contacto del agua con el aire, logrando el enfriamiento del agua.
- Aspersores: rocían el agua sobre el relleno.
- Separadores de Gotas: reducen la pérdida de agua, impidiendo que las gotas se muevan hacia el exterior de la torre.
- Ventilador: permiten que el vapor se transporte, se ubican en la parte superior de la torre.
- Motor Eléctrico: acciona el ventilador.

- Sistema de distribución de agua: conjunto de tuberías para la distribución uniforme del agua a enfriar.

TORRE DE ENFRIAMIENTO	
TIPO	MODULAR
CAPACIDAD MAX POR CELDA [m ³ /h]	600
NÚMERO DE CELDAS	3
DIMENSIONES [mm]	14600X3600
PESO [Kg]	20000
POTENCIA [kW]	3x37
CAUDAL DE RECIRCULACIÓN [m ³ /h]	1287,29
CAUDAL DE REPOSICIÓN [m ³ /h]	25,75
ESTRUTURA EXTERNA	PRFV

Tabla 5: Valores de Funcionamiento de la Torre de Enfriamiento.

2.2.9. Bomba de Alimentación

Esta turbomáquina se encargará de suministrar el fluido de trabajo a la caldera, produciendo un incremento de la presión del condensado desde 0,1 [bar] hasta 45 [bar] , como se explicará en detalle en documento Memoria de Cálculo - “Ciclo Rankine: cálculos y selección de equipos”.

El fluido de trabajo ingresará como líquido saturado a la caldera acuotubular mediante una compresión isoentrópica, proceso en el cual el fluido incrementará levemente su temperatura, debido a la disminución del volumen específico.

La bomba de alimentación utilizada es una bomba centrífuga del tipo multietapa de la empresa danesa GRUNDFOS, y estará ubicada a la salida del desaireador del condensador, el cual se utiliza para eliminar los gases disueltos que pudiera contener el condensando.

**Figura 39:** Bomba centrífuga multietapa GRUNDFOS.

La bomba para poder entregar trabajo al fluido absorberá potencia desde un motor eléctrico de la empresa alemana SIEMENS de $3 \times 380/660$ [V], $\cos \varphi = 0,89$ y velocidad nominal 2975 [rpm].

BOMBA DE ALIMENTACIÓN	
RENDIMIENTO	0,86
POTENCIA [kW]	45
VELOCIDAD NOMINAL [rpm]	2975
NÚMERO DE POLOS	2
COS φ	0,89
FRECUENCIA [Hz]	50
TENSIÓN [V]	$3 \times 380/660$
CAUDAL [m ³ /h]	25

Tabla 6: Valores de Funcionamiento de la Bomba de Alimentación.

2.3. Patio de Acopio

El almacenamiento de la materia prima se lleva a cabo en estructura techada, permitiendo el ingreso de aire para evitar la descomposición de los chips de madera, con una capacidad de almacenaje, que permita abastecer la producción de la central durante un período de 6 días sin aprovisionamiento de materia prima (el mismo se estableció en función de estudios llevados a cabo en plantas de similar magnitud, de las distancias de los proveedores a la central y las características de la materia prima utilizada), esta reserva cumple la función de compensar las variaciones estacionales frente a la necesidad de producir energía a lo largo de todo el año, ya que la planta debe asegurar el suministro de energía eléctrica al Sistema Interconectado Nacional estipulado por contrato, de no ser así, entrarán en juego las cláusulas de este, por incumplimiento de suministro.

Para determinar el stock y tipo de almacenamiento de la materia prima se tuvo en cuenta:

- El contenido de humedad.
- La materia prima utilizada por el proyecto proviene de aserraderos de la zona, por lo cual el costo de su puesta en planta no es tan elevado.
- Debido a las características de la materia prima, es aconsejable no almacenar grandes cantidades de la misma, y así evitar su descomposición y pérdida de propiedades. Es importante considerar que, durante el almacenaje de los residuos de madera, se produce una serie de procesos químicos y biológicos por la acción de microorganismos y las células vivas de la madera que liberan calor, ocasionando deterioros y pérdidas energéticas en los materiales
- Confiabilidad del abastecimiento de biomasa, para ellos los proveedores se comprometerán al cumplimiento de la entrega en tiempo y con la calidad estipulada,

de esa forma se asegurará el suministro continuo de este combustible a la caldera.

- Condiciones climáticas.
- Estacionalidad.
- Capacidad de almacenamiento de la planta.

La central planteada en el proyecto tiene un consumo de $8,08t/h$, por lo tanto, se establece que el almacén debe contar con una capacidad de almacenamiento de $1357,44 t$ de chips de madera.

$$8,08 \left[\frac{t}{h} \right] * 24 [h] * 7 = 1357,44 [t]$$

Considerando una densidad promedio de los chips de madera de eucalipto, de $0,35 t/m^3$.

$$VolumendeChipsdeMadera = \frac{1357,44 [t]}{0,35 \left[\frac{t}{m^3} \right]} = 3878,4 [m^3]$$

El depósito donde estarán contenidos los mismos, tendrán una base de piso móvil con 5 separaciones de 20×10 , logrando una superficie de acopio de chips de madera de $1000 m^2$, con una capacidad de acopio de $4000 m^3$.

El sistema de piso móvil adoptado por el proyecto, está formado por placas longitudinales que se mueven en el mismo sentido impulsada por actuadores olio – hidráulicos gracias a un sistema de aceite a presión, permitiendo que el material avance y se distribuya uniformemente por todo el piso. Este cumple con la función de hacer de acumulador de material, pudiendo almacenar en su interior el material necesario para varias horas de trabajo de la instalación. La otra función es la de dosificar la entrada de material a la instalación de acuerdo a la necesidad de este.

Además, se debe de tener en cuenta que el sistema de almacenamiento tiene una influencia

directa sobre el tipo de transporte y los sistemas de suministro.

Por lo mencionado anteriormente y considerando la configuración más utilizada en la zona para el transporte de este tipo de material, se opta por semirremolques de tres ejes con una capacidad admitida de 25 toneladas y máxima de 27,5 toneladas.

El transporte de la materia prima a la caldera de combustión se lleva a cabo mediante sistema electromecánico, a través de cinta transportadora que se encuentra dispuestas al final de los pisos móviles y por debajo de ellos, permitiendo así el transporte de la materia prima a la caldera.

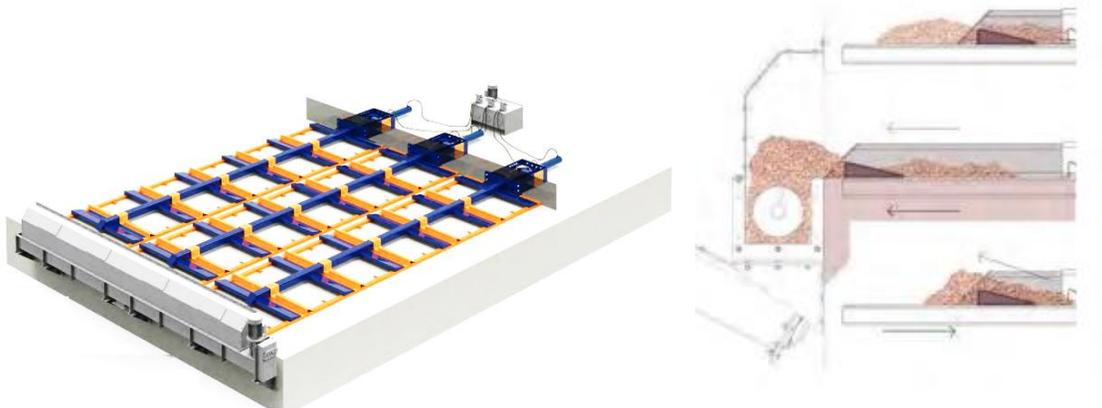


Figura 40: Sistema de Piso Móvil ecokcal.

2.4. Mantenimiento general de la central

El mantenimiento preventivo y predictivo se lleva a cabo siguiendo una planificación anual con tareas semanales y mensuales. El mantenimiento predictivo se llevará a cabo por personal propio y ajeno a la empresa así se lo requiera.

El mantenimiento se lleva a cabo para asegurar el funcionamiento adecuado de los equipos e instalaciones de la planta.

Dentro de las tareas de mantenimiento que se llevan a cabo encontramos:

- Análisis de vibraciones.
- Análisis de aceites dieléctricos hidráulicos, térmicos y de lubricación.
- Cambio del filtro y limpieza de cenizas.
- Verificar el aceite y agua del motor.
- Arranque del motor.

Además, cabe decir que el mantenimiento periódico incluye:

- Reemplazo de filtros.
- Remoción de cenizas.
- Limpieza del reactor y remoción de escoria.

3. Esquema de Conexión en Media Tensión

La energía eléctrica obtenida en la planta se inyectará a la línea de Media Tensión ubicada inmediatamente fuera del Parque Industrial, y será vendida al valor establecido por contrato con CAMMESA, luego, la Cooperativa Eléctrica de la ciudad de Concordia se encargará de la distribución de la misma, para poder brindarla a los distintos usuarios de la zona.

La tensión a la salida del generador es de 11 kV, por lo cual la central cuenta con una estación transformadora elevadora, para poder llevarla al nivel de tensión necesaria de 33 kV, y así suministrar la energía eléctrica a la red adecuadamente.

Para ello, se extenderá una línea de MT aérea de 33 kV con una longitud de 300 m, la cual se conectará al Alimentador más próximo al emplazamiento. Dicho alimentador se encuentra por Avenida Presidente Perón, lo que permitirá la conexión al Sistema Interconectado Nacional y la posibilidad de vender la energía producida a CAMMESA, a través de la Salida correspondiente de la distribuidora, la cual se encuentra localizada en la intersección de Avenida Presidente Perón y Capitán José A. Rojas.



Figura 41: Vista satelital de la conexión con el Alimentador.

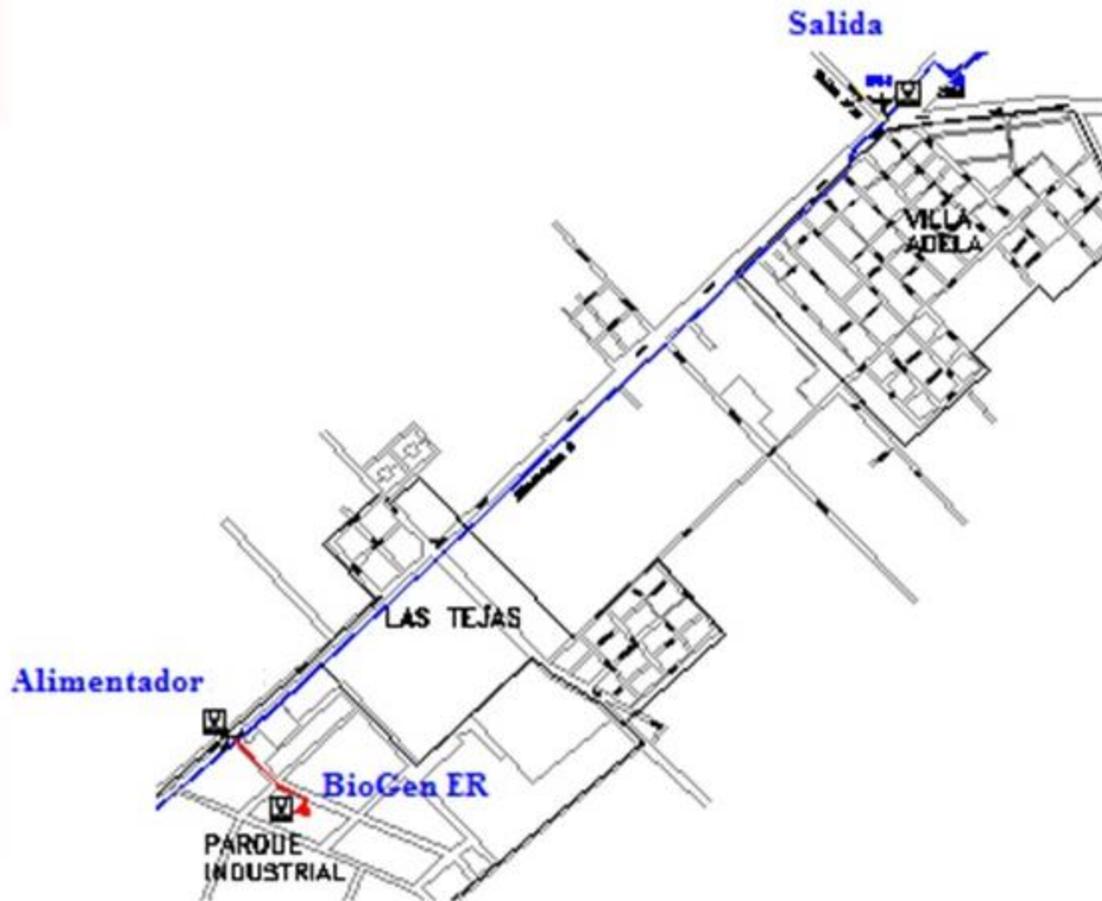


Figura 42: Esquema CAD de la conexión.

A continuación, se presentará en detalle el esquema utilizado por la planta para la conexión de los distintos equipos, que permite la vinculación con el Alimentador de la distribuidora.

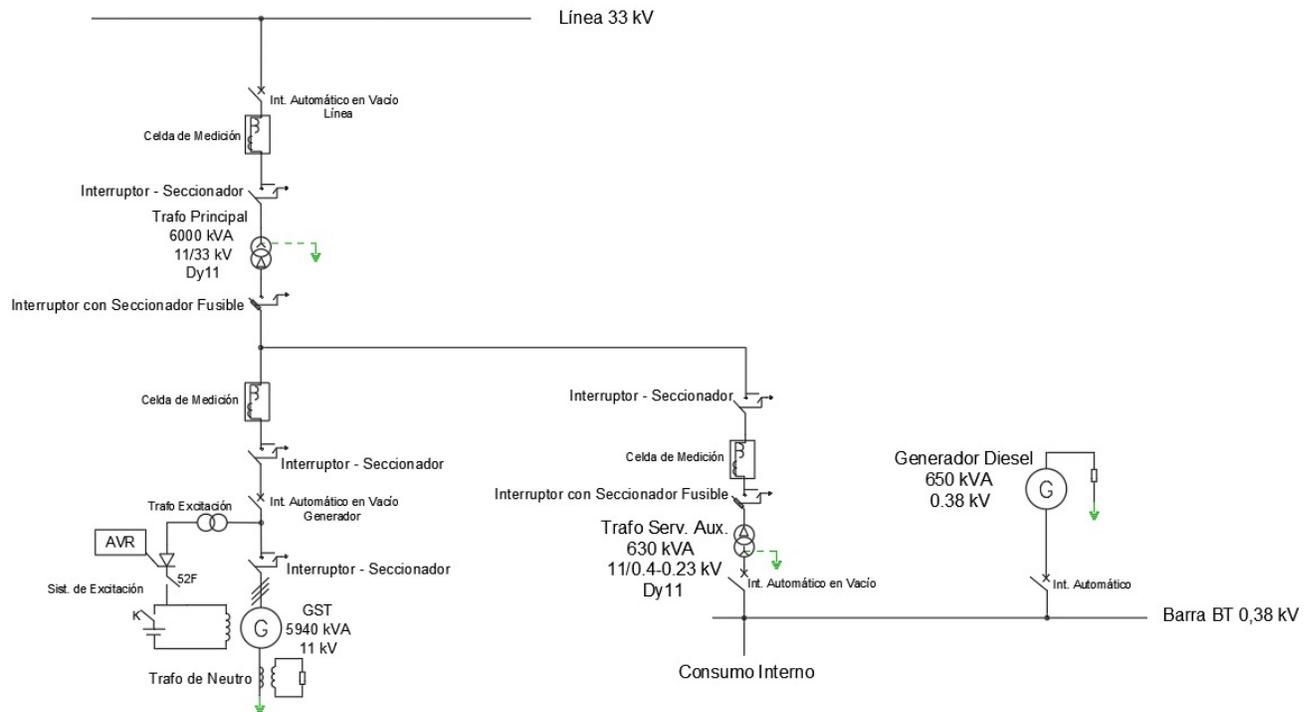


Figura 43: Diagrama Unifilar de la instalación en MT de la Central.

3.1. Transformador Principal

El transformador principal de la central cuenta con una potencia aparente de 6000 kVA, y es el encargado de elevar la tensión de salida del generador sincrónico de 11 kV hasta 33 kV, ya que la misma es la tensión de distribución en la zona de emplazamiento del proyecto.

El mismo es elegido de la empresa nacional fabricante de transformadores Tadeo Czerweny, debido a que ésta tiene experiencia en la fabricación de transformadores de potencia de similares características, y además por cuestiones de logística, por encontrarse a una distancia no tan extensa.

TRANSFORMADOR PRINCIPAL	
POTENCIA NOMINAL [kVA]	6000
TENSIÓN PRIMARIA NOMINAL [kV]	11
TENSIÓN SECUNDARIA NOMINAL [kV]	33
INTENSIDAD PRIMARIA NOMINAL [A]	315
INTENSIDAD SECUNDARIA NOMINAL [A]	105
FRECUENCIA [Hz]	50
FASES	3
GRUPO DE CONEXIÓN	Dyn11
REGULACIÓN	+/- 2 x 2,5%

Tabla 7: Características Eléctricas del Transformador Principal.

3.2. Transformador de Servicios Auxiliares

El transformador de servicios auxiliares será utilizado para reducir la tensión generada con el fin de poder adaptarla a los niveles de tensión de los equipos auxiliares que serán necesarios para el funcionamiento de la planta y demás consumos internos: ventiladores, bombas, motores asincrónicos, iluminación, etc.

Al igual que el transformador principal, se adoptará un transformador de potencia de Tadeo Czerweny, el mismo reducirá la tensión desde los 11 kV hasta los 0,4 kV – 0,23 kV, y la potencia nominal del equipo será de 630 kVA, la cual fue seleccionada, fundamentalmente, según la potencia instalada de los equipos de servicios auxiliares.

TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES	
POTENCIA NOMINAL [kVA]	630
TENSIÓN PRIMARIA NOMINAL [kV]	11
TENSIÓN SECUNDARIA NOMINAL [kV]	0,4 - 0,23
INTENSIDAD PRIMARIA NOMINAL [A]	33,1
INTENSIDAD SECUNDARIA NOMINAL [A]	909,3
FRECUENCIA [Hz]	50
FASES	3
GRUPO DE CONEXIÓN	Dyn11
REGULACIÓN	+/-2 x 2,5%

Tabla 8: Características Eléctricas del Transformador Servicios Auxiliares.

3.3. Generador Diésel

El generador diésel tendrá como función tomar rápidamente la carga de los servicios auxiliares, en caso de que el turbogenerador por alguna razón saliera temporalmente de servicio.

Se selecciona de la empresa internacional Cummins Generator Technologies, que cuenta con experiencia en proyectos de generación en nuestro país desde 1992, y en países vecinos Bolivia, Paraguay y Uruguay.



Figura 44: Generador Diésel.

El mismo contará con una tensión nominal de 0,38 kV, y una potencia nominal de 650 kVA, ya que es el valor superior inmediato que ofrece el fabricante respecto a la potencia instalada del consumo interno, tomando un porcentaje de margen.

GENERADOR DIÉSEL	
POTENCIA NOMINAL [kVA]	650
TENSIÓN NOMINAL [kV]	0,4
CILINDROS	6 (EN LINEA)
TIPO DE EXCITACIÓN	BRUSHLESS
FRECUENCIA [Hz]	50
FACTOR DE POTENCIA	0,8
VELOCIDAD [rpm]	1500

Tabla 9: Características Técnicas del Generador Diésel.

3.4. Celdas de Transformación

Para las celdas de transformación se optó por elegir la empresa fabricante española Ormazabal, la cual cuenta con una gran trayectoria en el diseño de celdas, y es un exportador habitual de las mismas en nuestro país.



Figura 45: Celda Modular de función de línea.

El diseño adoptado es el Ormeset.m basado en la IEC 62271-202 de tipo metálico, el cual cuenta con una acometida de hasta 24 kV, posibilidad de utilizar transformador de hasta 1000 kVA, y configuración de celdas de hasta 3 funciones de línea y 1 de protección (con fusible o interruptor automático), intensidad de cortocircuito de 20 kA.

CELDAS DE TRANSFORMACIÓN	
NORMA	IEC 62271-202
TENSIÓN ASIGNADA MT [kV]	24/36
FRECUENCIA [Hz]	50
POTENCIA TRAF0 [kVA]	≤ 1000
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO [kA]	16/20
TENSIÓN ASIGNADA BT [V]	400
INTENSIDAD ASIGNADA BT [A]	≤ 1600

Tabla 10: Características Eléctricas de las Celdas de Transformación.

Las celdas cuentan con enclavamientos mecánicos y eléctricos que evitan maniobras no seguras:

- Hacen imposible el cierre del Interruptor – Seccionador y del Seccionador de Puesta a Tierra al mismo tiempo.
- Permiten la apertura de la tapa de acceso a los cables de MT cuando el seccionador de PAT está cerrado.

Además, cuentan con indicadores capacitivos de tensión que indican la presencia de tensión en las fases mediante señales luminosas.

Las celdas de transformación estarán compuestas por las siguientes celdas modulares:

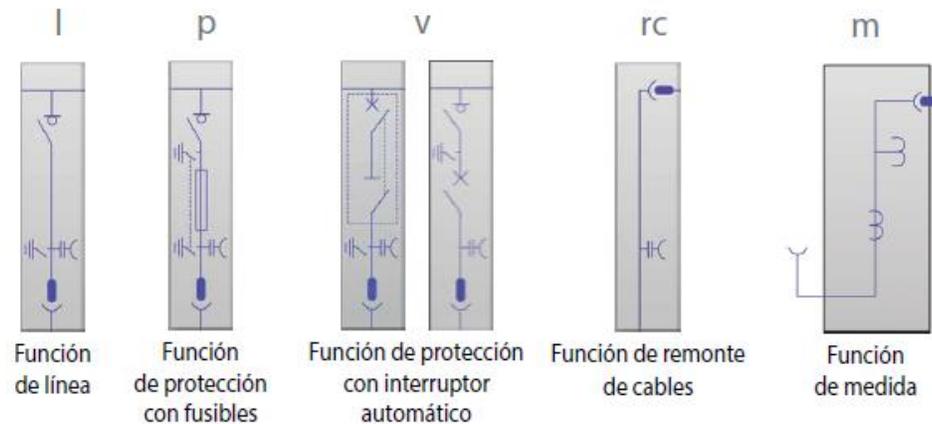


Figura 46: Funciones de las Celdas Modulares utilizadas.

- Función de Línea

Celda modular equipada con un interruptor – seccionador de tres posiciones: cerrado, abierto o puesta a tierra, tendrá como función la de vincular las celdas con los cables de media tensión.

- Función de Protección con Fusibles

Celda modular equipada con interruptor – seccionador de tres posiciones, y con fusibles limitadores que tendrá como función la protección de los transformadores.

- Función de Protección con Interruptor Automático y Mecanismo de Maniobra

Celda modular equipada con interruptor automática de corte en vacío de tres posiciones, que

tendrá como función la protección del generador y la línea, y además la posibilidad de realizar maniobras de conexión y desconexión.

- Función de Medida

Celda modular de medida con aislación en aire, que tendrá como principal función alojar los transformadores de medición (intensidad y tensión).

- Función de Remonte de Cables

Celda modular para remonte de cables hasta la barra principal.

4. Logística

Con respecto a la logística del proyecto, no solo se hará referencia al transporte de la biomasa forestal, sino que también al acondicionamiento de la misma, para su posterior utilización y almacenamiento.

Para el cálculo de los costos logísticos, se deben tener en cuenta los costos que se incurren en el transporte, para la puesta a disposición en la central de la materia prima, y los costos que implica su almacenamiento.

Para reducir el volumen de los residuos del aserrado de la madera y para mejorar al mismo tiempo sus condiciones, como, por ejemplo, el Poder Calorífico Inferior (PCI), es que se lleva a cabo el chipeado de la madera.

También es necesario determinar un stock de seguridad para compensar faltantes, ante eventualidades de abastecimiento de biomasa, ya que se debe asegurar un flujo de suministro de energía continuo al Sistema Interconectado Nacional. Además, se tiene que tener en cuenta que cuando se almacena este tipo de materia prima por largos periodos de tiempo, sufre pérdida por descomposición e incrementa su potencial de riesgo de incendio.

Transporte de la biomasa

Para el análisis del transporte de los chips de madera, se debe tener en cuenta sus características (densidad, contenido de humedad) así como las características del terreno sobre el cual se debe operar y las rutas a transitar. Esto debe unirse al momento del año de la operación y las características climáticas del mismo.

La carga de la materia prima en los sitios de generación y su posterior transporte a la central se llevará en Semirremolques de tres ejes con una capacidad admitida de 25 toneladas y máxima de 27,5 toneladas. La elección de estos camiones para el traslado se debe principalmente a que es

la configuración más utilizada en la zona para el traslado biomasa forestal, como lo es el chip de madera en nuestro proyecto.

Formación más frecuente chasis y acoplado con capacidad de peso bruto máximo permitido de 45 ton.

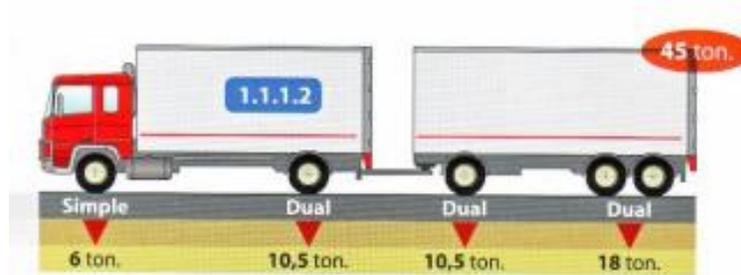


Figura 46: Configuración adoptada para el transporte de la materia prima.

El consumo diario de chip de madera, será de 193,92 t, por lo tanto, utilizando los semis de 27,5 toneladas, se necesitarán que por día ingresen a la central 7 camiones:

$$\text{Cantidad de Camiones por día: } \frac{193,92 [t]}{27,5 [t]} = 7,05$$

4.1. Costos de transporte

Cuando los sitios de producción de la materia prima se encuentran dispersos en la zona de acción del proyecto, la determinación de los costos asociados al transporte de la biomasa a la central, se complejiza y hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Infraestructura de las rutas o caminos sobre las cuales se manejará, es decir, sobre caminos pavimentados o de ripio. Aquí también hay que considerar los efectos que el cambio climático causa sobre los mismos.
- La distancia de los sitios de producción.

- Contenido de humedad de los residuos.
- El tipo de camión y su capacidad de carga permitida.

Al tratarse del transporte de materia prima de bajo valor en comparación con el costo de su traslado, hay que tener en cuenta que la distancia de los sitios de producción a la central no sea lo suficientemente grande, ya que no se justificaría el gasto. Por esta razón es que se aconseja que los sitios de producción no se encuentren alejados de la central, e inclusive si se generan en el mismo sitio mejor. Por las características de nuestro proyecto es recomendable un radio de incidencia de 50 km.

Programación de las rutas de recolección del proyecto.

Si bien, debido a las condiciones de provisión con las cuales cuenta el proyecto permite hacer rutas simples, existen principios a seguir para la optimización de las mismas.

Principios de Ruteo

Para encontrar la ruta óptima que minimice tantos costos como tiempo, Ballou plantea principios para una buena creación y programación de ruta, los mismos se tuvieron en cuenta a la hora de establecer las rutas de recolección de materia prima en la zona de acción de nuestro proyecto.

Dentro de los principios encontramos:

Las rutas de los camiones se programan de acuerdo al grupo de paradas más cercanas entre sí, de esa manera se minimiza el tiempo y costo.

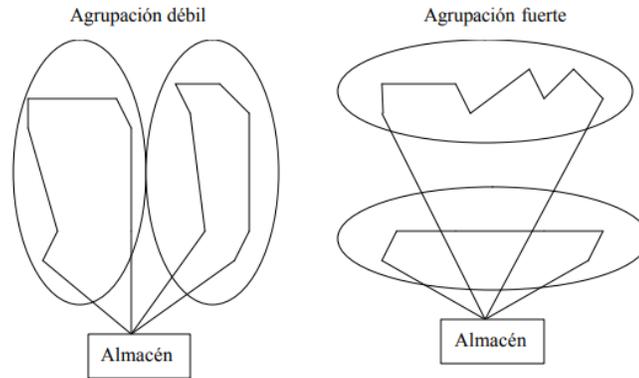


Figura 47: Principio de Ruteo – Agrupación

Fuente: (Ballou, 2004)

Cuando la recolección se hace en diferentes días, es necesario realizar las programaciones por separado para cada día, teniendo consideraciones de cercanía.

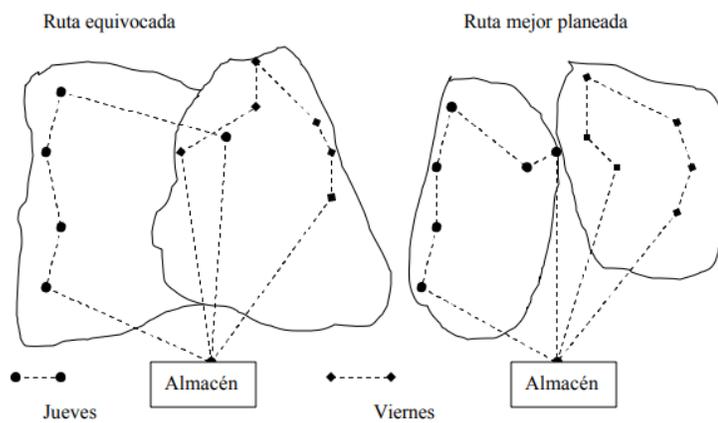


Figura 48: Principio de Ruteo – Cercanía

Fuente: (Ballou, 2004)

y luego se lleva a cabo las secuencias de las paradas.

El método consiste en localizar todos los sitios, incluidos el lugar de instalación de la planta.

Se procede a trazar una línea desde la planta hacia cualquier dirección y se hace rotar la misma hasta encontrar alguna parada. Una vez posicionado en ese punto se pregunta si la capacidad del vehículo será excedida, en caso de que no se exceda, se realiza nuevamente el paso anterior hasta interceptar otra parada y se hace la misma pregunta, si esta excede la capacidad se programa para otra ruta.

Los pasos antes mencionados se llevan a cabo hasta abarcar todos los puntos de recolección.

En cada una de las rutas se aplican los principios de ruteo para minimizar distancias, costos y número de viajes.

A continuación, se pueden observar las rutas diseñadas para la recolección de la materia prima y su puesta a disposición en la central. Para ello se utilizó Google Maps, confeccionando primeramente una tabla de Excel con los campos requeridos, para su ubicación en el mapa y sus correspondientes producciones.

Para su diseño se tuvo en cuenta los principios anteriormente mencionados, considerando las limitaciones de no contar con un programa que nos permita obtener una ruta óptima.

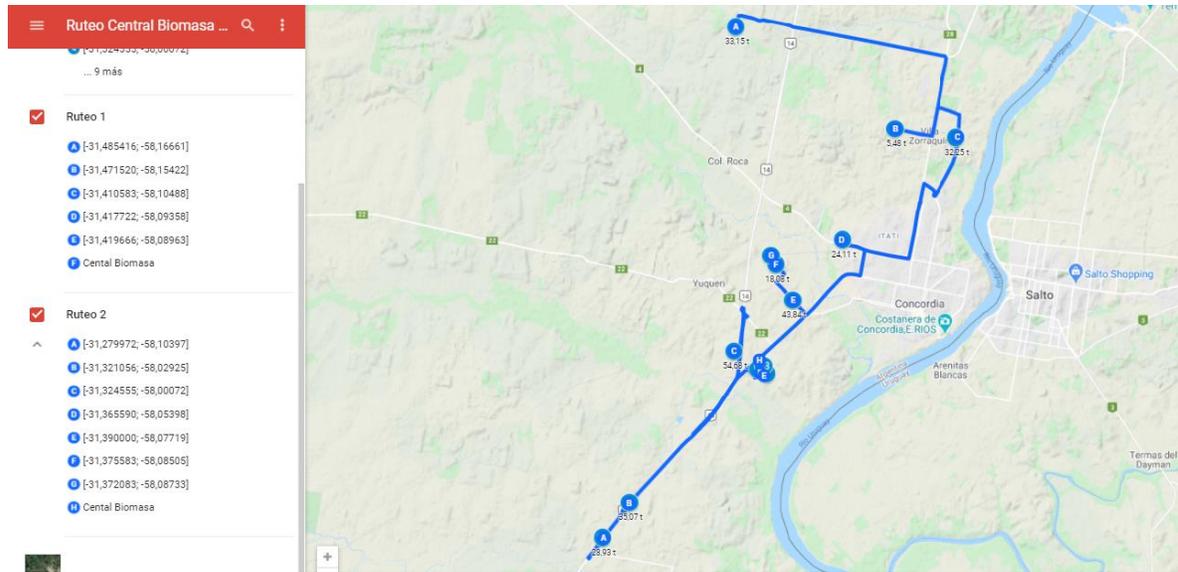


Figura 50: Ruta General - Ubicación de los Proveedores

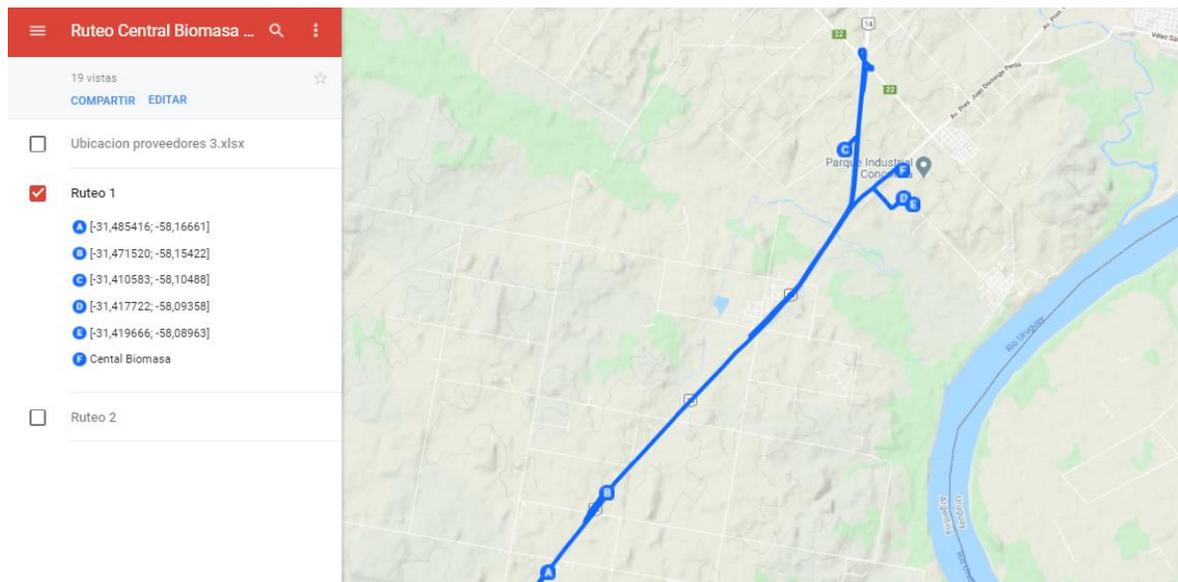


Figura 51: Ruteo 1

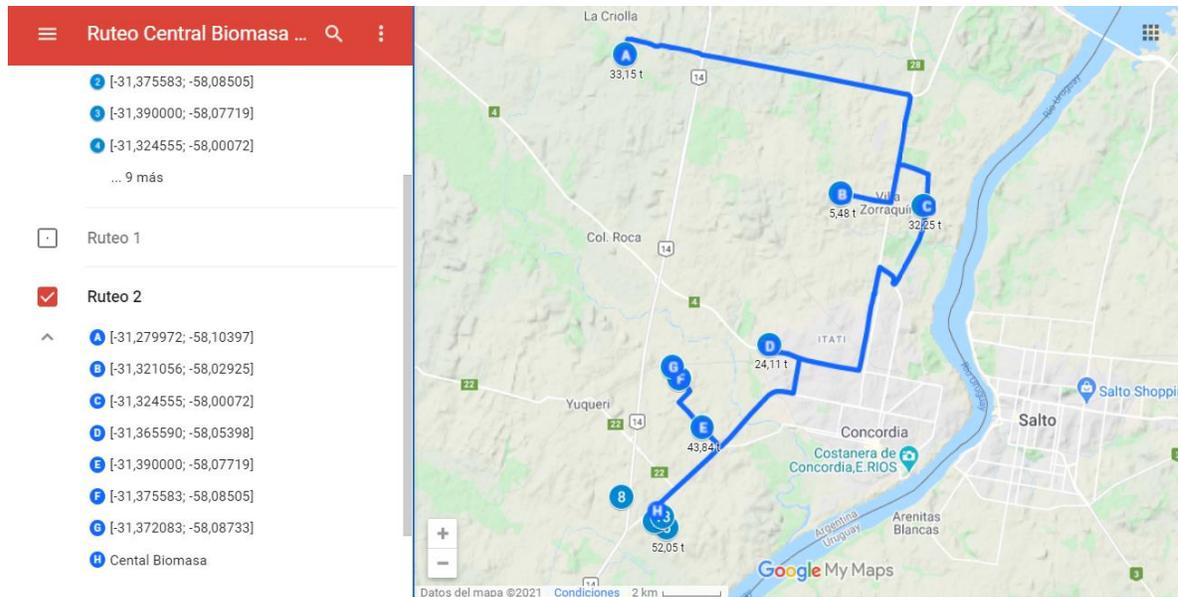


Figura 52: Ruteo 2

El cronograma de recolección fue planificado de tal manera que la central funcione las 24 h del día, es decir, que cada día se recolectarán 193,92 t de chips de madera.

Los días lunes, miércoles, viernes y domingo se abastecerá siguiendo la ruta 1, mientras que martes jueves y sábado siguiendo la ruta 2. Por lo que la recolección se hará día por medio, para dejar a las empresas abastecedoras un lapso para el chipeado, acopio de los chips y posterior recolección.

ANEXOS



BioGen ER
Generación Limpia



BioGen ER
Generación Limpia

MEMORIA DE CÁLCULO

En este apartado del proyecto, se presenta el desarrollo de los procedimientos aplicados para el cálculo del Ciclo de Rankine.



AUTOR: KLOSTER, DANIEL ALEJANDRO
CARRERA: INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROFESOR:
ING. SCHATTENHOFER, FEDERICO ARNOLDO

2021

TUTORES:
CR. ALVAREZ, CARLOS ARTURO
ING. BASGALL, LUIS AGUSTÍN
ING. FORNILLO, OCTAVIO JAVIER

UTN Concordia
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Concordia

CICLO RANKINE: CÁLCULO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

En este apartado se seleccionarán los equipos componentes del Ciclo Rankine para la central de generación termoeléctrica a partir de biomasa de origen forestal, la cual consiste principalmente en chips de madera de eucaliptus.

La tecnología adoptada por el proyecto para la producción de vapor es el ciclo termodinámico Rankine, el cuál es el más apropiado y utilizado en centrales de este tipo, según estudios relevados y visitas realizadas a centrales de proceso similar.

El ciclo Rankine utiliza agua en sus fases líquida y de vapor como fluido de trabajo, y se compone de los siguientes cuatro procesos:

- El flujo de agua es impulsado a través de una bomba centrífuga hacia la caldera, aumentando la presión del líquido, mediante una compresión adiabática, con lo cual se obtendrá líquido comprimido.
- Una vez que el fluido ingresa en la caldera, primeramente es calentado produciéndose su evaporación, y luego en el sobrecalentador de la misma, aumenta su presión y temperatura hasta alcanzar los valores necesarios de operación de la turbina.
- En la turbina, se produce la expansión del vapor, por medio de la cual se obtiene la energía mecánica de rotación necesaria que será aprovechada en el generador sincrónico, gracias al acoplamiento mecánico.
- Por último, el vapor que sale de la turbina ingresa al condensador que lo devuelve al estado líquido a una presión y temperatura constante, y de allí finalmente es bombeado nuevamente a la caldera para repetir el ciclo.

Para realizar los cálculos necesarios se tendrán en cuenta las siguientes suposiciones y consideraciones:

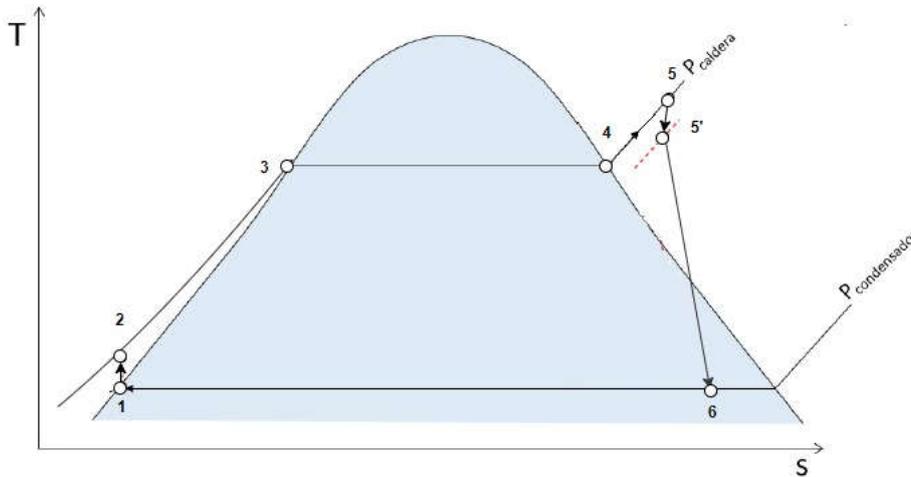
1. Se necesitan generar 4 MW de potencia eléctrica para suministrar a la red.
2. Condiciones estacionarias de operación, según Yunus Cengel Ed. 7.
3. Los cambios en las energías cinéticas y potencial son insignificantes, según Yunus Cengel Ed. 7.
4. Caída de presión, entre la salida del sobrecalentador y entrada de turbina del 5%, y caída de temperatura del 2,2% (10°C).
5. Presión de escape de la turbina p_6 de 0,1 bar (según fabricante).
6. Rendimiento de la turbina de vapor η_{tv} del 82% (según fabricante).
7. Rendimiento del generador η_{gen} del 95% (según fabricante).
8. Rendimiento de la caldera η_{cald} del 87% (según fabricante).

9. Rendimiento de la bomba η_{bomba} del 86,6% (según fabricante).
10. Caída de presión en el condensador despreciable, según Yunus Cengel Ed. 7 Pág. 565.
11. El agua a la entrada de la bomba se considera en el estado de saturación. Se adopta entonces, la temperatura de saturación T_1 , para ese punto.
12. Para realizar los cálculos se utilizaron las tablas del Yunus Cengel Ed. 7:
 - **TABLA A-5.** Agua Saturada. Tabla de Presiones (Pág. 916).
 - **TABLA A-6.** Vapor de Agua Sobrecalentado (Pág. 918).
13. El proceso de la bomba se considera adiabático.
14. El proceso de la caldera se considera isobárico.
15. Se considera la temperatura ambiente de 25°C.
16. Densidad del agua ρ_{agua} de 1000 kg/m³.
17. Se considera que las pérdidas de vapor, por purgas y fugas, son de un 2% (según estudios realizados y relevamientos a centrales de este tipo).
18. Contenido máximo de humedad permisible en el vapor de escape de la turbina será del 10%.
19. Se adopta un poder calorífico inferior PCI del chip de madera de eucaliptus de 2600 kcal/kg, para una humedad promedio del 40%.
20. Para la obtención de las entalpías h_i y h_f , se utilizará el software de tablas termodinámicas **CATT 3**.

A continuación, se lista la nomenclatura adoptada para los cálculos desarrollados en este capítulo, a fines de brindar una mejor comprensión al lector:

- f : Frecuencia
- h : Entalpía
- $m_{biomasa}$: Consumo de biomasa
- m_{vapor} : masa vapor
- p : Presión
- P : Potencia activa
- PCI : Poder Calorífico Inferior
- q : Calor
- Q : Caudal de agua de recirculación
- s : Entropía
- S : Potencia aparente
- T : Temperatura
- v : Volumen específico
- W : Trabajo
- x : Título de vapor
- η : Rendimiento
- ρ : densidad

El Diagrama T-S para el Ciclo Rankine real es el representado en la siguiente figura:



A continuación, se procede a realizar los cálculos y selección de los equipos, para alcanzar la potencia eléctrica propuesta en el proyecto que es de 4,5 MW, los cuales contemplan un porcentaje que es para el consumo interno de los servicios auxiliares de la central, y el restante es el que se venderá a CAMMESA.

SELECCIÓN GENERADOR

Realizado el análisis de todas las opciones de turbogeneradores disponibles en el mercado para el rango de potencia necesario del proyecto, se seleccionó finalmente, el turbogenerador de la **Línea ST41** de la empresa WEG Brasil, los cuales se diseñan con una potencia de salida de hasta 69 MW.

En el caso de la planta serán necesarios 4 MW, más el autoconsumo de la planta.

Turbogeneradores Línea ST41

Los turbogeneradores de la línea ST41 fueron proyectados para operar en el segmento de generación de energía eléctrica a través de biomasa, petróleo y gas y geotermia. Utilizado en turbinas de vapor o de gas, su concepto permite una gran flexibilidad de proyectos electromagnéticos para satisfacer las más diversas aplicaciones, optimizando al máximo la relación peso x potencia.

Características Técnicas

- Potencia: hasta 69.000 kVA - 13.800 V - 60 Hz - 1.800 rpm
- Potencia: hasta 60.000 kVA - 11.000 V - 50 Hz - 1.500 rpm
- Grado de protección: IP54 y IP55
- Forma constructiva: IM1001 o IM1005 (B3)
- Otras características bajo consulta

Principales Características

- Máquina compacta
- Baja nivel de ruido
- Alta eficiencia
- Impregnación VPI con resina epoxi
- Mantenimiento reducido
- Excitador y rectificador integrado, aumentando la robustez y armonía del conjunto de excitación
- Sistema de refrigeración del conjunto de excitación por medio de ductos, eficiente y optimizado
- Posibilidad de utilizar el conjunto de excitación con rueda de diodos redundante



<https://alren.es/documentacion/general/formas-constructivas/>

Dado que:

$$f := 50 \text{ Hz} \quad (\text{frecuencia del sistema interconectado})$$

$$n_{\text{polos}} := 2 \quad (\text{pares de polos})$$

La velocidad será de:

$$n := 2 \pi \cdot \frac{f}{n_{\text{polos}}} = 1500 \text{ rpm}$$

Teniendo en cuenta la potencia activa necesaria a generar de 4,5 MW, y teniendo en cuenta que el $\cos\varphi_{\text{nom}} := 0.8$, según el fabricante, la potencia aparente nominal del generador será de:

$$\cos\varphi := 0.8$$

$$S_{\text{nom}} := 5940 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

$$P_{\text{sal.gen}} := S_{\text{nom}} \cdot \cos\varphi = 4752 \text{ kW}$$

Con lo cual, seleccionando un generador de 5940 kVA, se asegura el suministro de los 4,5 MW, siendo la potencia de salida máxima limitada por la turbina de 4750 kVA.

Los datos más importantes brindados por el fabricante para el mismo son:

GENERADOR ELÉCTRICO	
POTENCIA NOMINAL [kW]	4750
TENSIÓN NOMINAL [kV]	11
NÚMERO DE FASES	3
NÚMERO DE POLOS	4
VELOCIDAD [rpm]	1500
FRECUENCIA [Hz]	50
COS φ	0,8

SELECCIÓN TURBINA DE VAPOR

Realizado el análisis de todas las opciones de turbinas de vapor disponibles en el mercado para el rango de potencia necesario del proyecto, se seleccionó finalmente:

Dentro de las brindadas por TGM Brasil, la turbina de acción de tipo condensación de la **Línea TMC**, la cual puede diseñarse con una potencia de salida hasta 17 MW. En el caso de la planta serán necesarios 5 MW de potencia de salida.

Turbinas de Vapor - Tecnología de Acción
Línea TMC / TMCE
Condensación - Extracción



Características Técnicas

- Potencia de salida nominal hasta 17 MW
- Presión de admisión hasta 45 bar a
- Temperatura de admisión hasta 450 °C
- Rotación hasta 8.000 rpm
- Presión de extracción hasta 20 bar a

<https://www.grupotgm.com.br/turbinas-45-bar-a-450-c-17-mw-condensacao-tmc-e-tmce>

Debido a que la turbina de vapor adoptada, como se mencionó anteriormente, tiene un rendimiento η_{tv} del 82%, y que el rendimiento η_{gen} del generador es del 95%:

$$\eta_{tv} := 0.82$$

$$\eta_{gen} := 0.95$$

La potencia de salida de la turbina de vapor será:

$$P'_{sal.tv} := 5 \text{ MW}$$

Con lo cual, la potencia necesaria que habrá que entregarle a la turbina será de:

$$P'_{in.tv} := \frac{P'_{sal.tv}}{\eta_{tv}} = 6.1 \text{ MW}$$

y la potencia de entrada en el generador:

$$P'_{in.gen} := P'_{sal.tv} = 5 \text{ MW}$$

Finalmente, la potencia de salida del generador será:

$$P'_{sal.gen} := \eta_{gen} \cdot P'_{in.gen} = 4.75 \text{ MW}$$

Si bien el valor calculado es mayor al proyectado, esta potencia generada también tiene en cuenta el autoconsumo de la planta, y además se cuenta con un margen de potencia para poder entregar a la red con el fin de cumplir con las horas de potencia suministrada estipuladas por contrato. Con lo cual, se estarían garantizado de 4 MW al sistema, y lo necesario para consumo propio de la central.

Teniendo en cuenta que la turbina elegida para la planta es la TGM TMC de 5 MW de potencia, los parámetros (máximos) de admisión del vapor a la entrada de la turbina serán los siguientes:

$$p_{5s.máx} := 45 \text{ bar} = 4.5 \text{ MPa}$$

$$T_{5s.máx} := 450 \text{ °C}$$

Con lo cual se escogerán para la entrada de la turbina, los siguientes valores, basándonos en la caída de presión considerada que hay entre la misma y la salida del sobrecalentador, lo cual se analizará con más detalle en los cálculos posteriores.

$$p_5 := 42.75 \text{ bar}$$

$$T_5 := 440 \text{ °C}$$

La presión de escape de la turbina adoptada, según el fabricante será de:

$$p_6 := 0.1 \text{ bar} = 10 \text{ kPa}$$

Finalmente, las principales características de la turbina de vapor seleccionada son:

TURBINA DE VAPOR	
POTENCIA DE SALIDA [MW]	5
PRESIÓN DE ADMISIÓN [bar]	42,75
TEMPERATURA DE ADMISIÓN [°C]	440
RENDIMIENTO	0,82
PRESIÓN DE ESCAPE [bar]	0,1
VELOCIDAD DE SALIDAD DE CAJA REDUCTORA [rpm]	1500

• **CÁLCULO Y DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE OPERACIÓN**

En función de los equipos principales anteriormente seleccionados, se determinarán los restantes mediante el cálculo de sus parámetros de funcionamiento.

PUNTO 5'

• **CÁLCULO ENTROPÍA $s_{5'}$**

Para hallar el valor de la entropía en el punto (5'), hay que ir a la **TABLA A-6. Vapor Sobrecalentado**.

Para ello se ingresa con: $T_{5'}$ y $p_{5'}$.

$$p_{5'} = 42.75 \text{ bar} \quad p_{5'} = 4.275 \text{ MPa}$$

$$T_{5'} = 440 \text{ }^\circ\text{C}$$

Se debe interpolar para obtener el valor de entropía buscado.

TABLA A-6

Vapor de agua sobrecalentado (continuación)

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
$P = 4.0 \text{ MPa (250.35 }^\circ\text{C)}$					$P = 4.5 \text{ MPa (257.44 }^\circ\text{C)}$			
Sat.	0.04978	2601.7	2800.8	6.0696	0.04406	2599.7	2798.0	6.0198
275	0.05461	2668.9	2887.3	6.2312	0.04733	2651.4	2864.4	6.1429
300	0.05887	2726.2	2961.7	6.3639	0.05138	2713.0	2944.2	6.2854
350	0.06647	2827.4	3093.3	6.5843	0.05842	2818.6	3081.5	6.5153
400	0.07343	2920.8	3214.5	6.7714	0.06477	2914.2	3205.7	6.7071
450	0.08004	3011.0	3331.2	6.9386	0.07076	3005.8	3324.2	6.8770
500	0.08644	3100.3	3446.0	7.0922	0.07652	3096.0	3440.4	7.0323
600	0.09886	3279.4	3674.9	7.3706	0.08766	3276.4	3670.9	7.3127
700	0.11098	3462.4	3906.3	7.6214	0.09850	3460.0	3903.3	7.5647
800	0.12292	3650.6	4142.3	7.8523	0.10916	3648.8	4140.0	7.7962
900	0.13476	3844.8	4383.9	8.0675	0.11972	3843.3	4382.1	8.0118
1000	0.14653	4045.1	4631.2	8.2698	0.13020	4043.9	4629.8	8.2144
1100	0.15824	4251.4	4884.4	8.4612	0.14064	4250.4	4883.2	8.4060
1200	0.16992	4463.5	5143.2	8.6430	0.15103	4462.6	5142.2	8.5880
1300	0.18157	4680.9	5407.2	8.8164	0.16140	4680.1	5406.5	8.7616

De las fórmulas de interpolación:

$$s_x = s_a + (T_x - T_a) * \frac{(s_b - s_a)}{(T_b - T_a)}$$

$$s_x = s_a + (p_x - p_a) * \frac{(s_b - s_a)}{(p_b - p_a)}$$

Para obtener la entropía para 4 MPa, se tendrá:

$$s_a := 6771.4 \frac{J}{kg \cdot K} \quad s_b := 6938.6 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$T_a := 400 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T_b := 450 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T_x := T_{5'} = 440 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s_{p_4MPa} := s_a + (T_x - T_a) \cdot \frac{s_b - s_a}{T_b - T_a} = (6.91 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$s_{p_4MPa} = (6.91 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$

Luego, para obtener la entropía para 4,5 MPa, se tendrá:

$$s_a := 6707.1 \frac{J}{kg \cdot K} \quad s_b := 6877 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$T_a := 400 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T_b := 450 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T_x := T_{5'} = 440 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$s_{p_4.5MPa} := s_a + (T_x - T_a) \cdot \frac{s_b - s_a}{T_b - T_a} = (6.84 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$s_{p_4.5MPa} = (6.84 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$

Finalmente, para hallar la entropía requerida para 4,275 MPa:

$$s_a := (6.87 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K} \quad s_b := (6.91 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$p_a := 4 \text{ MPa} \quad p_b := 4.50 \text{ MPa} \quad p_x := p_{5'} = 4.275 \text{ MPa}$$

$$s_{5'} := s_a + (p_x - p_a) \cdot \frac{s_b - s_a}{p_b - p_a} = (6.892 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$

De acuerdo a lo anterior, si la presión del vapor sobrecalentado es de 4,275 MPa, y su temperatura es de 440 °C, entonces la entropía del vapor sobrecalentado es:

$$s_{5'} = (6.892 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$

• **CÁLCULO ENTALPÍA $h_{5'}$**

Para encontrar la entalpía en **(5')**, habrá que interpolar nuevamente en la **TABLA A-6. Vapor Sobrecalentado**, ingresando con $T_{5'}$ y $p_{5'}$.

TABLA A-6

Vapor de agua sobrecalentado (*continuación*)

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
$P = 4.0 \text{ MPa (250.35 °C)}$					$P = 4.5 \text{ MPa (257.44 °C)}$			
Sat.	0.04978	2601.7	2800.8	6.0696	0.04406	2599.7	2798.0	6.0198
275	0.05461	2668.9	2887.3	6.2312	0.04733	2651.4	2864.4	6.1429
300	0.05887	2726.2	2961.7	6.3639	0.05138	2713.0	2944.2	6.2854
350	0.06647	2827.4	3093.3	6.5843	0.05842	2818.6	3081.5	6.5153
400	0.07343	2920.8	3214.5	6.7714	0.06477	2914.2	3205.7	6.7071
450	0.08004	3011.0	3331.2	6.9386	0.07076	3005.8	3324.2	6.8770

Nuevamente utilizando las fórmulas de interpolación:

$$h_x = h_a + (T_x - T_a) \cdot \frac{(h_b - h_a)}{(T_b - T_a)} \qquad h_x = h_a + (p_x - p_a) \cdot \frac{(h_b - h_a)}{(p_b - p_a)}$$

Para hallar el valor de entalpía para la presión de 4 MPa, se tendrá que:

$$h_a := 3214.5 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \qquad h_b := 3331.2 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$T_a := 400 \text{ °C} \qquad T_b := 450 \text{ °C} \qquad T_x := T_{5'} = 440 \text{ °C}$$

Con lo cual:

$$h_{p_4\text{MPa}} := h_a + (T_x - T_a) \cdot \frac{h_b - h_a}{T_b - T_a} = (3.31 \cdot 10^6) \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$h_{p_4\text{MPa}} = (3.31 \cdot 10^6) \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Luego, para obtener la entalpía para 4,5 MPa, se tiene que:

$$h_a := 3205.7 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \qquad h_b := 3324.2 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$T_a := 400 \text{ °C} \qquad T_b := 450 \text{ °C} \qquad T_x := T_{5'} = 440 \text{ °C}$$

$$h_{p_{4.5MPa}} := h_a + (T_x - T_a) \cdot \frac{h_b - h_a}{T_b - T_a} = (3.3 \cdot 10^6) \frac{J}{kg}$$

$$h_{p_{4.5MPa}} = (3.3 \cdot 10^6) \frac{J}{kg}$$

Finalmente, para obtener la entalpía requerida para la presión de 4,275 MPa:

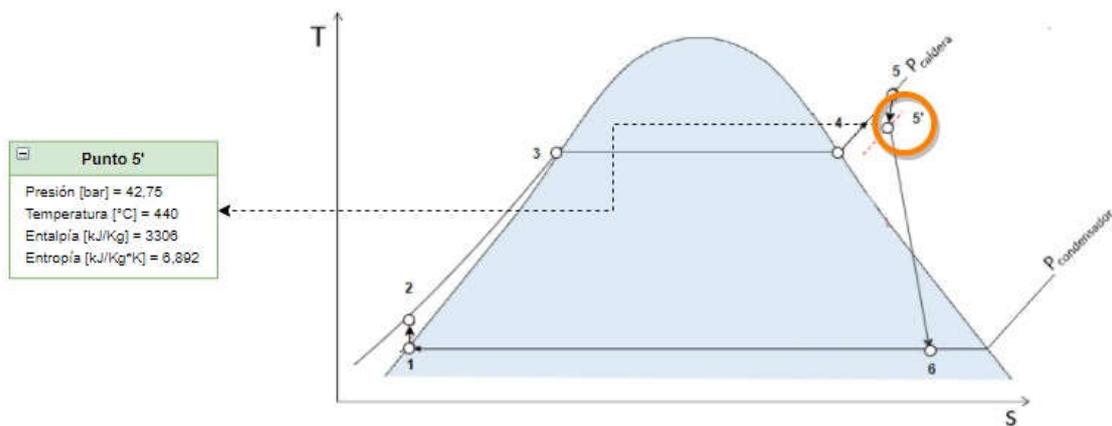
$$h_a := (3.3 \cdot 10^6) \frac{J}{kg} \quad h_b := (3.31 \cdot 10^6) \frac{J}{kg}$$

$$p_a := 4 \text{ MPa} \quad p_b := 4.50 \text{ MPa} \quad p_x := p_{5'} = 4.275 \text{ MPa}$$

$$h_{5'} := h_a + (p_x - p_a) \cdot \frac{h_b - h_a}{p_b - p_a} = (3.306 \cdot 10^6) \frac{J}{kg}$$

De acuerdo a lo anterior, si la presión del vapor sobrecalentado es de 4,275 MPa, y su temperatura es de 440 °C, entonces la entalpía del vapor sobrecalentado es:

$$h_{5'} = (3.306 \cdot 10^6) \frac{J}{kg}$$



PUNTO 6

• CÁLCULO TEMPERATURA T_6

El condensador en las centrales térmicas, suele tener presiones de trabajo entre 0,06 y 0,14 bar. En el caso de la planta, la presión de salida de la turbina es de 0,1 bar, por lo tanto, el condensador es seleccionado para operar en esta presión de trabajo.

$$p_6 = 0.1 \text{ bar}$$

Luego, de la **TABLA A-5. AGUA SATURADA** (para presiones), se obtiene la temperatura de saturación T_6 , que será la temperatura de trabajo del condensador en la parte de carcasa:

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., P kPa	Temp. sat., T_{sat} °C	Volumen específico, m^3/kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líqu. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Líqu. sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Líqu. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
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

$$T_6 := 45.81 \text{ °C}$$

Conociendo la presión p_6 a la salida de la turbina - entrada del condensador, se puede obtener la entropía en este punto (**6s**), ya que en el caso ideal, la **entropía se mantendría constante ($s_{5'} = s_{6s}$)**.

$$s_{6s} := s_{5'} = (6.892 \cdot 10^3) \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

• CÁLCULO ENTALPÍA h_6

Para hallar el valor de h_6 , se parte de la ecuación de rendimiento de la turbina (Yunus Cengel pág. 566 Ed. 7), debido a que el mismo es un valor conocido brindado por el fabricante.

$$\eta_{tv} = \frac{(h_{5'} - h_6)}{(h_{5'} - h_{6s})}$$

De ella se desprende que el valor de la entalpía h_6 en el punto, se puede obtener como:

$$h_6 = (h_{6s} - h_{5'}) * \eta_{tv} + h_{5'}$$

Los valores $h_{5'}$ y η_{tv} son parámetros conocidos, por lo tanto será necesario hallar el valor de la entalpía h_{6s} .

Teniendo en cuenta las entropías para líquido saturado y vapor saturado, para $p_6 = 10$ kPa, en la **TABLA A-5. Agua Saturada. Tabla de P**

7.0	40.23	0.001000	14.233	191.77	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
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	50.07	0.001014	15.000	191.80	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488

$$s_{vaporsat6s} := 8.1488 \cdot 10^3 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$s_{liqsat6s} := 0.6492 \cdot 10^3 \frac{J}{kg \cdot K}$$

Como s_{6s} se encuentra entre $s_{liqsat6s}$ y $s_{vaporsat6s}$, entonces se habla de una mezcla, por lo tanto vamos a calcular el título "x" (calidad), valor que será necesario en la determinación de h_{6s} .

$$s_{6s} = (6.892 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$x = \frac{s_x - s_l}{s_v - s_l}$$

$$x := \frac{(s_{6s} - s_{liqsat6s})}{s_{vaporsat6s} - s_{liqsat6s}} = 0.83$$

Nuevamente, de la **TABLA A-5. Agua Saturada. Tabla de P**, se obtiene:

$$h_{liqsat6s} := 191.81 \cdot 10^3 \frac{J}{kg}$$

$$h_{vaporsat6s} := 2583.9 \cdot 10^3 \frac{J}{kg}$$

Con lo cual, partiendo del título obtenido, se podrá encontrar el valor de h_{6s} buscado:

$$x = \frac{h_x - h_l}{h_v - h_l}$$

$$h_{6s} := h_{liqsat6s} + x \cdot (h_{vaporsat6s} - h_{liqsat6s}) = (2.183 \cdot 10^6) \frac{J}{kg}$$

Recordando que η_{tv} es de 0,82:

$$\eta_{tv} = 0.82$$

Y la entalpía h_6 a la salida de la turbina viene dada por la fórmula:

$$h_6 := h_{5'} - \eta_{tv} \cdot (h_{5'} - h_{6s})$$

$$h_6 := h_{5'} - \eta_{tv} \cdot (h_{5'} - h_{6s}) = (2.385 \cdot 10^6) \frac{J}{kg}$$

• CÁLCULO ENTROPÍA s_6

Para calcular la entropía s_6 se parte de la ecuación del título (Yunus Cengel):

$$x = \frac{s_x - s_l}{s_v - s_l}$$

De ella se desprende que el valor de la entropía en el punto 6, se puede obtener como:

$$s_6 := x' \cdot (s_{vaporsat6s} - s_{liqsat6s}) + s_{liqsat6s}$$

Será necesario calcular el título de vapor x' en el punto **(6)**, recordando que las entalpías para el líquido saturado y vapor saturado en el punto son:

$$h_{liqsat6s} = (191.81 \cdot 10^3) \frac{J}{kg}$$

$$h_{vaporsat6s} = (2.58 \cdot 10^6) \frac{J}{kg}$$

El título de la mezcla será de:

$$x' := \frac{(h_6 - h_{liqsat6s})}{h_{vaporsat6s} - h_{liqsat6s}} = 0.92$$

Como se puede observar, este valor cumple con la condición de máximo contenido de humedad del 10% en el vapor saliente de la turbina, que se estableció en las suposiciones al comienzo del capítulo.

$$x_{mín.admisible} := 0.9$$

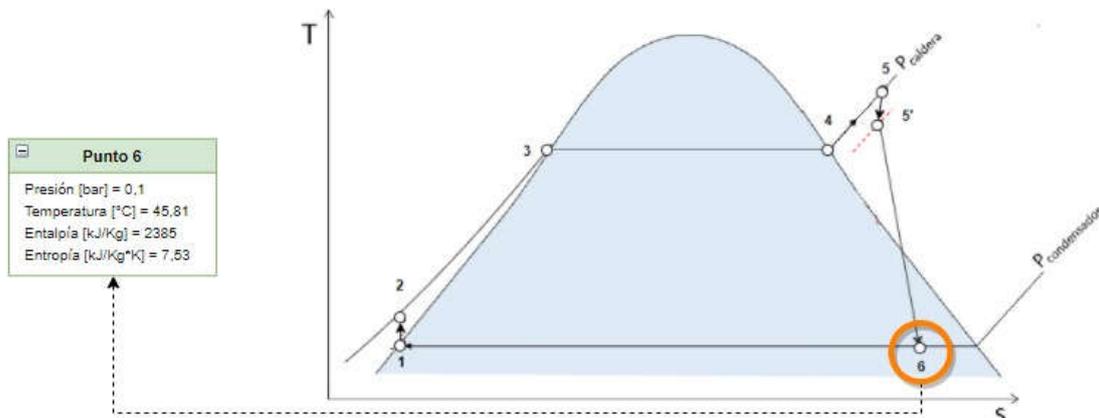
$$\text{if}(x' > x_{mín.admisible}, \text{"VERIFICA"}, \text{"NO VERIFICA"}) = \text{"VERIFICA"}$$

Luego, habiendo obtenido el valor del título x' , y recordando los valores de las entropías para el líquido saturado y vapor saturado, se podrá hallar finalmente, el valor de la entropía s_6 .

$$s_{liqsat6s} = 649.2 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$s_{vaporsat6s} = (8.15 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$s_6 := x' \cdot (s_{vaporsat6s} - s_{liqsat6s}) + s_{liqsat6s} = (7.53 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$



PUNTO 1

• CÁLCULO TEMPERATURA T_1

Como se mencionó en una de las suposiciones, se considera despreciable la caída de presión en el condensador, ya que por lo general esta es mínima respecto a la caída de presión entre el sobrecalentador y la turbina.

Ya que se conoce la presión de condensación del vapor p_6 , se pueden obtener, mediante la **TABLA A-5. Agua saturada** (presiones), las características del fluido a la entrada de la bomba.

Ingresando con el valor de presión a la salida del condensador p_6 , el cual es el mismo que a la salida de la turbina de vapor p_1 :

$$p_1 := p_6 = 10 \text{ kPa}$$

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., P kPa	Temp. sat., T_{sat} °C	Volumen específico, m^3/kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, $\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$		
		Líqu. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líqu. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Líqu. sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Líqu. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
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

Se obtiene que la temperatura a la entrada de la bomba será:

$$T_1 := T_6 = 45.81 \text{ °C}$$

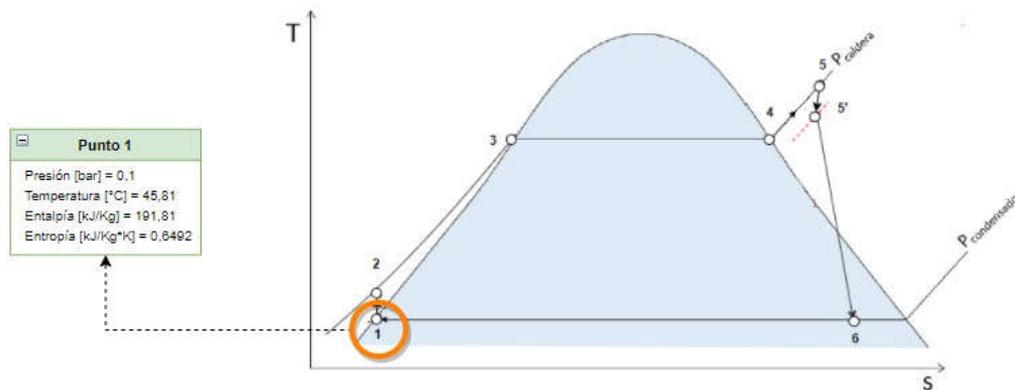
• CÁLCULO ENTALPÍA h_1 y ENTROPÍA s_1

Como se mencionó en las suposiciones, se considera que el agua saturada se encuentra a la temperatura de saturación T_1 .

Luego, de la **TABLA A-5. Agua saturada** (presiones), los valores obtenidos de entalpía y entropía del líquido saturado para T_1 y p_1 son:

$$h_1 := 191.81 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$s_1 := 0.6492 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$



PUNTO 5

• **DETERMINACIÓN PRESIÓN p_5 y TEMPERATURA T_5**

Para el punto **5** (salida del sobrecalentador), se deberá tener en cuenta la caída de presión mencionada en las suposiciones, la cual es producida por la fricción del fluido (vapor).

Recordando que la presión a la entrada de la turbina es:

$$p_{5'} = 42.75 \text{ bar}$$

Por lo tanto, la presión a la salida de la caldera (sobrecalentador) deberá ser mayor para poder compensar esta caída.

Como la caída de presión considera es del **5%**:

$$\frac{45 - 42.75}{45} \cdot 100 = 5 \text{ (\%)}$$

$$p_5 := \frac{p_{5'}}{0.95} = 45 \text{ bar}$$

Que será el valor de presión del vapor sobrecalentado a la salida de la caldera, el cual cubre las pérdidas por fricción con el objetivo de tener una presión de trabajo adecuada al ingreso de la turbina de vapor.

Y para la temperatura de salida de la caldera, se considerará que es mayor que la de entrada a la turbina, para así también compensar las pérdidas de tipo térmico que haya entre el sobrecalentador y la turbina de vapor.

$$T_{5'} = 440 \text{ °C} \quad (\text{temperatura de admisión de la turbina de vapor})$$

Como se mencionó en las suposiciones al comienzo del capítulo, se tomará la temperatura máxima soportada por la caldera, con lo cual se está considerando que en el trayecto **5-5'**, la temperatura disminuye unos 10°C, es decir un 2,22%.

$$\left(\frac{450 - 440}{450}\right) \cdot 100 = 2.22 \quad \%$$

$$T_{5máx} := 450 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_5 := T_{5máx} = 450 \text{ } ^\circ\text{C}$$

• **CÁLCULO ENTALPÍA h_5 y ENTROPÍA s_5**

Ya que están definidos tanto la presión como la temperatura en el punto **5**, se puede obtener ahora la entalpía en el punto, para ello, se deberá ingresar a la **TABLA A-6. Vapor Sobrecalentado.**

Ingresando con T_5 y p_5 :

$$p_5 = 4.5 \text{ MPa}$$

$$T_5 = 450 \text{ } ^\circ\text{C}$$

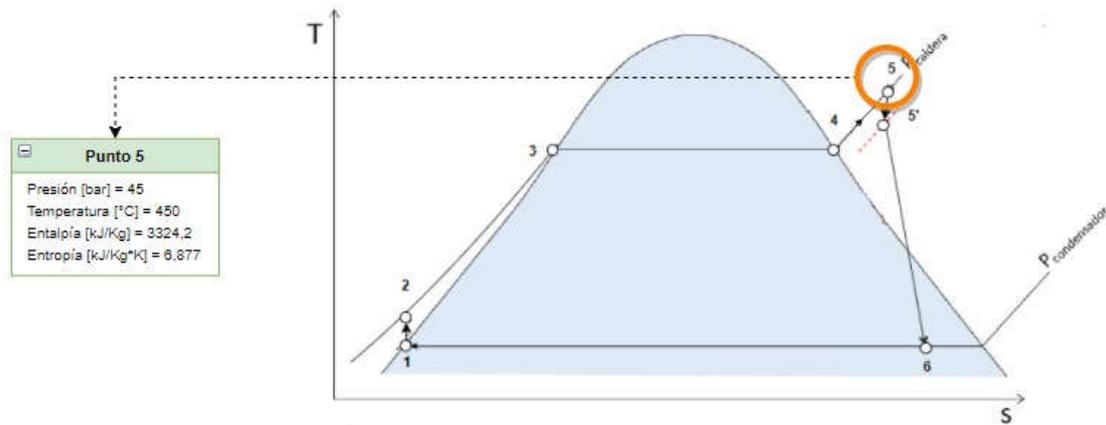
TABLA A-6

Vapor de agua sobrecalentado (continuación)

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
$P = 4.0 \text{ MPa (250.35 } ^\circ\text{C)}$				$P = 4.5 \text{ MPa (257.44 } ^\circ\text{C)}$				$P = 5.0 \text{ MPa (263.94 } ^\circ\text{C)}$				
Sat.	0.04978	2601.7	2800.8	6.0696	0.04406	2599.7	2798.0	6.0198	0.03945	2597.0	2794.2	5.9737
275	0.05461	2668.9	2887.3	6.2312	0.04733	2651.4	2864.4	6.1429	0.04144	2632.3	2839.5	6.0571
300	0.05887	2726.2	2961.7	6.3639	0.05138	2713.0	2944.2	6.2854	0.04535	2699.0	2925.7	6.2111
350	0.06647	2827.4	3093.3	6.5843	0.05842	2818.6	3081.5	6.5153	0.05197	2809.5	3069.3	6.4516
400	0.07343	2920.8	3214.5	6.7714	0.06477	2914.2	3205.7	6.7071	0.05784	2907.5	3196.7	6.6483
450	0.08004	3011.0	3331.2	6.9386	0.07076	3005.8	3324.2	6.8770	0.06332	3000.6	3317.2	6.8210

$$h_5 := 3324.2 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$s_5 := (6.8770 \cdot 10^3) \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$



PUNTO 2

• CÁLCULO ENTALPÍA h_2

Tanto el punto **2** como el **2s**, se encuentran en la zona de líquido comprimido. Para calcular la entalpía h_2 , se aplicará el hecho de que por ser líquido, la transformación es adiabática e isócara a la vez.

$$T_2 := T_1 = 45.81 \text{ } ^\circ\text{C}$$

y partiendo de la ecuación del rendimiento de la bomba:

$$\eta_{bomba} = v_1 * \frac{(p_2 - p_1)}{(h_2 - h_1)}$$

La entalpía h_2 a la salida de la bomba viene dada por la fórmula:

$$h_2 := h_1 + \frac{v_1 \cdot (p_2 - p_1)}{\eta_{bomba}}$$

Se conoce el valor de p_2 , porque a partir de este punto, la presión del agua se incrementará hasta el valor con el cual ingresará a la caldera, por lo tanto:

$$p_2 := p_5$$

Además, se cuenta con el valor del rendimiento de la bomba, porque el mismo es brindado por el fabricante:

$$\eta_{bomba} := 0.866$$

Se necesitará hallar el volumen específico v_1 , ya que, éste será necesario también para calcular el trabajo de compresión de la bomba W_{bomba} en cálculos posteriores.

Ingresando con $p_1 = 10$ kPa, en la **TABLA A-5. Agua Saturada. Tabla de P**, se obtiene que el volumen específico v_1 es:

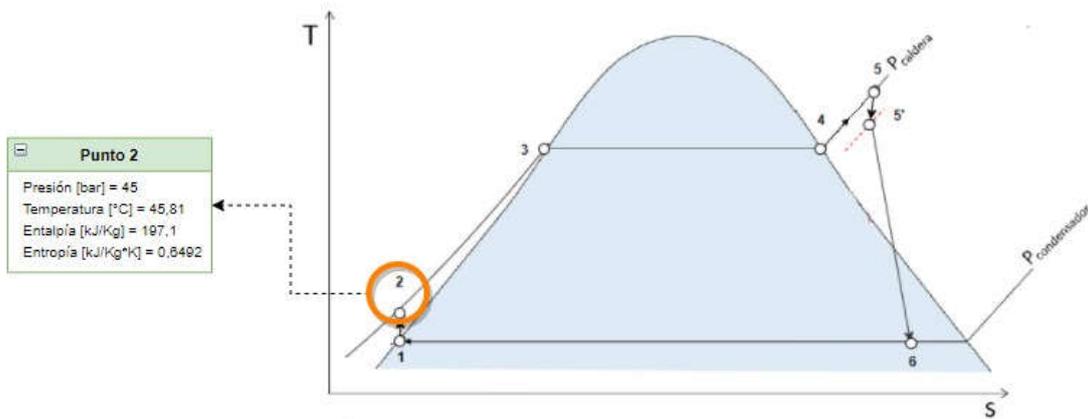
$$v_1 := 0.00101 \frac{m^3}{kg}$$

Y finalmente, la entalpía h_2 será:

$$h_2 := h_1 + \frac{v_1 \cdot (p_2 - p_1)}{\eta_{bomba}} = (197.05 \cdot 10^3) \frac{J}{kg}$$

• **ENTROPÍA s_2**

$$s_2 := s_1 = 649.2 \frac{J}{kg \cdot K}$$



PUNTO 3

- DETERMINACIÓN PRESIÓN p_3 y TEMPERATURA T_3

Luego de ser comprimido en forma adiabática hasta los 45 *bar*, el líquido ingresará al economizador en donde se calentará hasta su temperatura de ingreso a la caldera.

$$p_3 := p_5 = 45 \text{ bar}$$

Para obtener el valor de la temperatura T_3 en el punto (3), se ingresa a la **TABLA A-5. Agua saturada** (presiones) con p_3 , para así hallar el valor de temperatura de saturación. En este paso nuevamente se deberá recurrir a una interpolación lineal.

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones (conclusión)

Pres., P kPa	Temp. sat., T_{sat} °C	Volumen específico, m^3/kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, $\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$		
		Líqu. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líqu. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Líqu. sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Líqu. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
800	170.41	0.001115	0.24035	719.97	1856.1	2576.0	720.87	2047.5	2768.3	2.0457	4.6160	6.6616
850	172.94	0.001118	0.22690	731.00	1846.9	2577.9	731.95	2038.8	2770.8	2.0705	4.5705	6.6409
900	175.35	0.001121	0.21489	741.55	1838.1	2579.6	742.56	2030.5	2773.0	2.0941	4.5273	6.6213
950	177.66	0.001124	0.20411	751.67	1829.6	2581.3	752.74	2022.4	2775.2	2.1166	4.4862	6.6027
1000	179.88	0.001127	0.19436	761.39	1821.4	2582.8	762.51	2014.6	2777.1	2.1381	4.4470	6.5850
1100	184.06	0.001133	0.17745	779.78	1805.7	2585.5	781.03	1999.6	2780.7	2.1785	4.3735	6.5520
1200	187.96	0.001138	0.16326	796.96	1790.9	2587.8	798.33	1985.4	2783.8	2.2159	4.3058	6.5217
1300	191.60	0.001144	0.15119	813.10	1776.8	2589.9	814.59	1971.9	2786.5	2.2508	4.2428	6.4936
1400	195.04	0.001149	0.14078	828.35	1763.4	2591.8	829.96	1958.9	2788.9	2.2835	4.1840	6.4675
1500	198.29	0.001154	0.13171	842.82	1750.6	2593.4	844.55	1946.4	2791.0	2.3143	4.1287	6.4430
1750	205.72	0.001166	0.11344	876.12	1720.6	2596.7	878.16	1917.1	2795.2	2.3844	4.0033	6.3877
2000	212.38	0.001177	0.099587	906.12	1693.0	2599.1	908.47	1889.8	2798.3	2.4467	3.8923	6.3390
2250	218.41	0.001187	0.088717	933.54	1667.3	2600.9	936.21	1864.3	2800.5	2.5029	3.7926	6.2954
2500	223.95	0.001197	0.079952	958.87	1643.2	2602.1	961.87	1840.1	2801.9	2.5542	3.7016	6.2558
3000	233.85	0.001217	0.066667	1004.6	1598.5	2603.2	1008.3	1794.9	2803.2	2.6454	3.5402	6.1856
3500	242.56	0.001235	0.057061	1045.4	1557.6	2603.0	1049.7	1753.0	2802.7	2.7253	3.3991	6.1244
4000	250.35	0.001252	0.049779	1082.4	1519.3	2601.7	1087.4	1713.5	2800.8	2.7966	3.2731	6.0696
5000	263.94	0.001286	0.039448	1148.1	1448.9	2597.0	1154.5	1639.7	2794.2	2.9207	3.0530	5.9737

De la fórmula de interpolación:

$$T_3 := T_a + (p_x - p_a) \cdot \frac{T_b - T_a}{p_b - p_a}$$

Para obtener la temperatura de saturación T_3 , se tiene:

$$T_a := 250.35 \text{ °C} \quad T_b := 263.94 \text{ °C}$$

$$p_a := 4000 \text{ kPa} \quad p_b := 5000 \text{ kPa} \quad p_x := p_3 = 4500 \text{ kPa}$$

sustituyendo en la fórmula planteada:

$$T_3 := T_a + (p_x - p_a) \cdot \frac{T_b - T_a}{p_b - p_a} = 257.15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por lo tanto, si la presión del líquido saturado es de 4,5 MPa, entonces su temperatura será de:

$$T_3 = 257.15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

• CÁLCULO ENTALPÍA h_3

Para la obtención de la entalpía en el punto **3** (líquido saturado), también se procederá a realizar una interpolación lineal en la **TABLA A-5. Agua saturada** (presiones) ingresando con $p_3 = 45 \text{ kPa}$.

De la fórmula de interpolación:

$$h_3 := h_a + (p_x - p_a) \cdot \left(\frac{h_b - h_a}{p_b - p_a} \right)$$

Para obtener la entalpía h_3 , se tiene:

$$h_a := (1087.4 \cdot 10^3) \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad h_b := (1154.5 \cdot 10^3) \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$p_a := 4000 \text{ kPa} \quad p_b := 5000 \text{ kPa} \quad p_x := p_3 = 4500 \text{ kPa}$$

$$h_3 := h_a + (p_x - p_a) \cdot \left(\frac{h_b - h_a}{p_b - p_a} \right) = (1.12 \cdot 10^6) \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

De acuerdo a lo anterior, si la presión p_3 del líquido saturado es de 4,5 MPa, entonces su entalpía será de:

$$h_3 = (1.121 \cdot 10^6) \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

• **CÁLCULO ENTROPÍA s_3**

Para la obtención de la entropía en el punto **3** (líquido saturado), de igual manera se procederá a realizar una interpolación lineal en la **TABLA A-5. Agua saturada** (presiones) ingresando con $p_3 = 45$ kPa.

De la fórmula de interpolación:

$$s_3 := s_a + (p_x - p_a) \cdot \frac{s_b - s_a}{p_b - p_a}$$

Para obtener la entropía s_3 , se tiene:

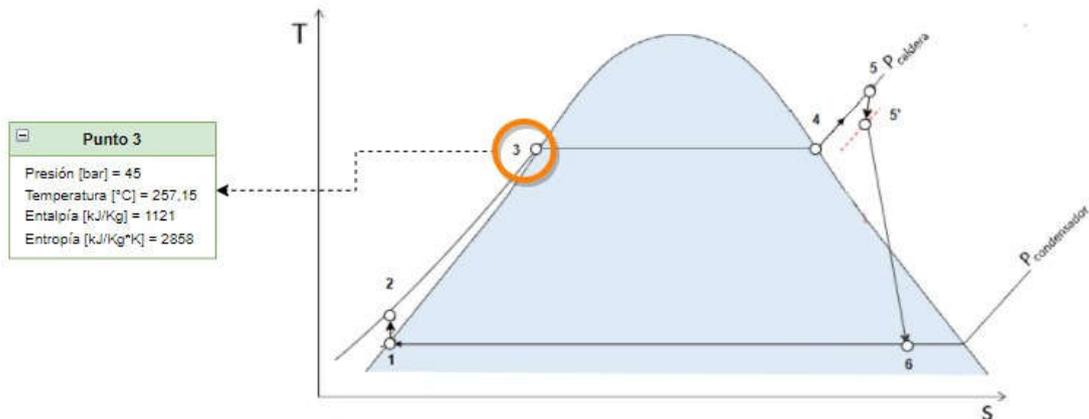
$$s_a := (2.7966 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K} \quad s_b := (2.9202 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$p_a := 4000 \text{ kPa} \quad p_b := 5000 \text{ kPa} \quad p_x := p_3 = 4500 \text{ kPa}$$

$$s_3 := s_a + (p_x - p_a) \cdot \frac{s_b - s_a}{p_b - p_a} = (2.86 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$

Finalmente, si la presión p_3 del líquido saturado es de 4,5 MPa, entonces su entropía s_3 será de:

$$s_3 = (2.858 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$



PUNTO 4

- **DETERMINACIÓN PRESIÓN p_4 y TEMPERATURA T_4**

El agua saturada ingresará a la caldera con T_4 y p_4 .

$$T_4 := T_3 = 257.15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$p_4 := p_3 = 45 \text{ bar}$$

- **CÁLCULO ENTALPÍA h_4**

La entalpía en el punto **4** (vapor saturado), se obtendrá de igual manera por interpolación lineal.

De la fórmula de interpolación:

$$h_4 := h_a + (p_x - p_a) \cdot \frac{h_b - h_a}{p_b - p_a}$$

Para obtener la entalpía h_4 , se tiene:

$$h_a := (2794.2 \cdot 10^3) \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad h_b := (2800.8 \cdot 10^3) \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$p_a := 4000 \text{ kPa} \quad p_b := 5000 \text{ kPa} \quad p_x := p_4 = 4500 \text{ kPa}$$

$$h_4 := h_a + (p_x - p_a) \cdot \frac{h_b - h_a}{p_b - p_a} = (2.8 \cdot 10^6) \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

De acuerdo a lo anterior, si la presión p_4 del vapor saturado es de 4,5 MPa, entonces su entalpía h_4 será de:

$$h_4 = (2.798 \cdot 10^6) \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

• **CÁLCULO ENTROPÍA s_4**

Para la obtención de la entropía en el punto **4** (vapor saturado), de igual manera se procederá a realizar una interpolación lineal en la **TABLA A-5. Agua saturada** (presiones) ingresando con $p_4 = 45$ kPa.

De la fórmula de interpolación:

$$s_4 := s_a + (p_x - p_a) \cdot \frac{s_b - s_a}{p_b - p_a}$$

Para obtener la entropía s_4 , se tiene:

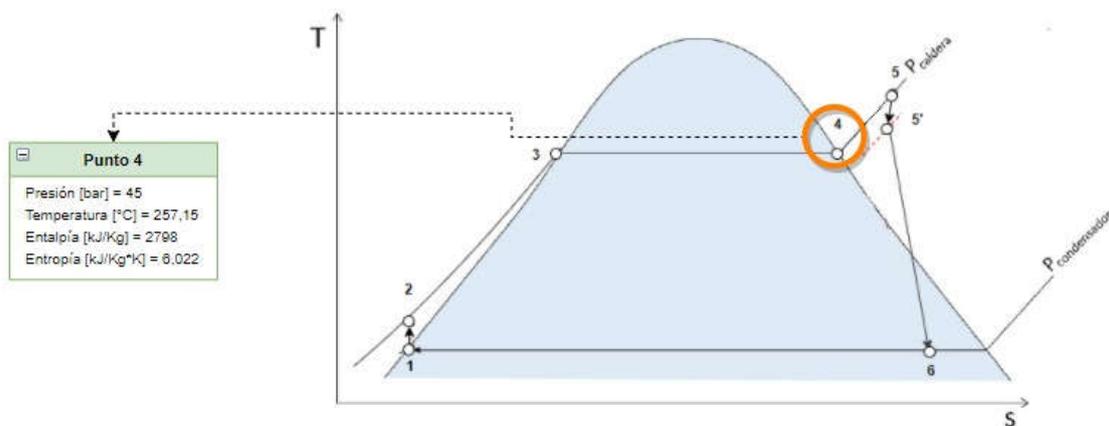
$$s_a := (6.0696 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K} \quad s_b := (5.9737 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$p_a := 4000 \text{ kPa} \quad p_b := 5000 \text{ kPa} \quad p_x := p_4 = (4.5 \cdot 10^3) \text{ kPa}$$

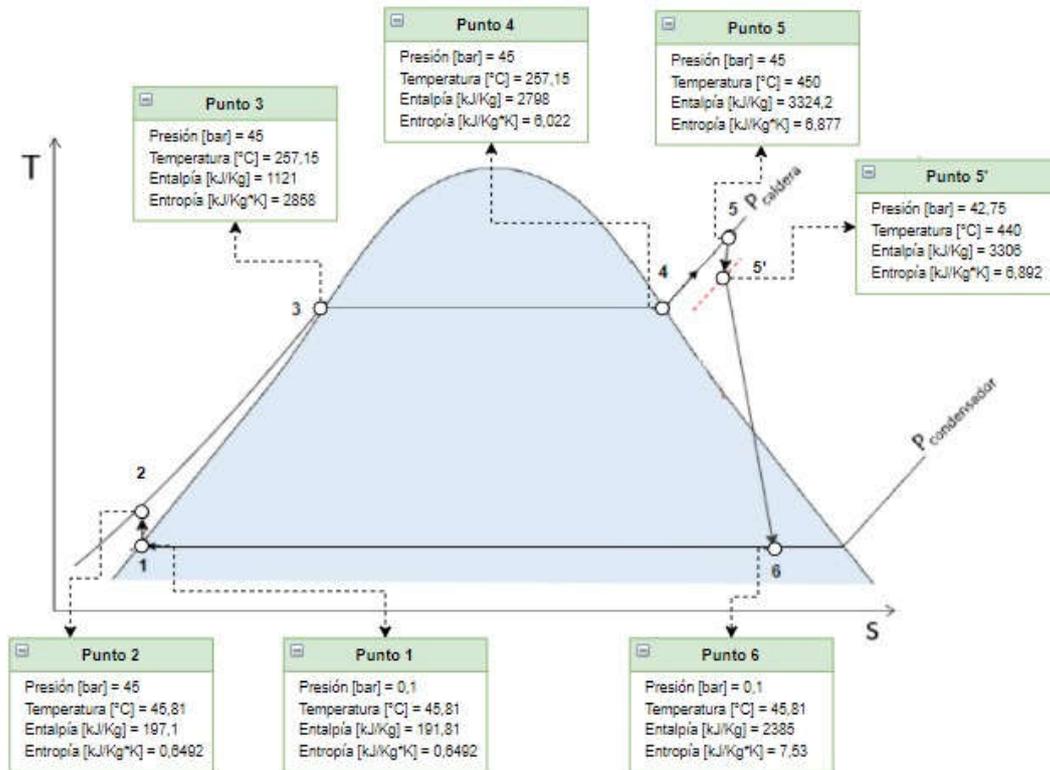
$$s_4 := s_a + (p_x - p_a) \cdot \frac{s_b - s_a}{p_b - p_a} = (6.02 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$

Finalmente, si la presión p_4 del vapor saturado es de 4,5 MPa, entonces su entropía h_4 será de:

$$s_4 = (6.022 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$



Con lo cual, quedan determinados todos los parámetros que caracterizan al fluido de trabajo en los distintos puntos del ciclo de potencia.



• CÁLCULO VAPOR GENERADO EN LA CALDERA

Para calcular el flujo másico de vapor en la caldera se utilizará la expresión:

$$m_{vapor} := \frac{P'_{in.tv}}{W_{neto}}$$

El valor de $P'_{in.tv}$ es conocido gracias a los datos del fabricante de la turbina de vapor, con lo cual para obtener la m_{vapor} será necesario calcular el W_{neto} del ciclo Rankine, el cual se define como:

$$W_{neto} := W_{turbina} - W_{bomba}$$

Recordando que el η_{tv} es de 82%. El trabajo de expansión de la turbina será:

$$\eta_{tv} = 0.82$$

$$W_{turbina} := \eta_{tv} \cdot (h_{5'} - h_{6s}) = (920.4 \cdot 10^3) \frac{J}{kg}$$

Y el trabajo de compresión de la bomba viene dado por:

$$W_{bomba} := \frac{v_1 \cdot (p_5 - p_1)}{\eta_{bomba}} = (5.24 \cdot 10^3) \frac{J}{kg}$$

Por lo tanto, el trabajo neto W_{neto} del ciclo termodinámico será:

$$W_{neto} := W_{turbina} - W_{bomba} = (915.2 \cdot 10^3) \frac{J}{kg}$$

Con el W_{neto} obtenido, se calculará el flujo másico necesario para obtener la $P'_{in.tv}$ en la turbina.

$$P'_{in.tv} = 6.1 \text{ MW}$$

$$m_{vapor} := \frac{P'_{in.tv}}{W_{neto}} = 6.66 \frac{kg}{s} \quad m_{vapor} = 23.99 \frac{tonne}{hr}$$

Se puede realizar la **verificación** del valor correspondiente a la masa de vapor obtenida, mediante la relación:

$$P_{eje.tv} := \eta_{tv} \cdot m_{vapor} \cdot W_{neto} = 5 \text{ MW}$$

Que como se puede observar coincide con la potencia de salida brindada por la turbina seleccionada, la cual será la necesaria para conseguir que el generador brinde los 4,5 MW de salida estipulados.

Considerando que las pérdidas de vapor (tanto por purgas como por fugas) son de un 2%, se necesitará que la m_{vapor} sea un 2% superior a lo calculado para poder compensarlas, y así lograr conseguir la potencia necesaria a la entrada de la turbina de vapor.

$$m'_{vapor} := \frac{m_{vapor}}{0.98} = 6.8 \frac{kg}{s}$$

El calor necesario en la caldera para obtener vapor saturado será de:

$$q'_{cald} := m'_{vapor} \cdot (h_5 - h_2) = 21.26 \text{ MW}$$

• CÁLCULO BIOMASA REQUERIDA

Luego, considerando el poder calorífico inferior PCI (tomando un 40% humedad) de la biomasa utilizada:

$$PCI := 2600 \frac{kcal}{kg} = (10.89 \cdot 10^6) \frac{J}{kg}$$

Y el rendimiento de la caldera utilizada, el cual es de un 87%:

$$\eta_{cald} := 0.87$$

Se calculará el **consumo de biomasa** necesario para el funcionamiento de la caldera:

$$m_{biomasa} := \frac{q'_{cald}}{\eta_{cald} \cdot PCI} = 2.24 \frac{kg}{s} \quad m_{biomasa} = 8.08 \frac{tonne}{hr}$$

$$m_{biomasa.dia} := m_{biomasa} \cdot 24 \text{ hr} = 194 \text{ tonne} \quad (\text{por día})$$

$$m_{biomasa.mes} := m_{biomasa.dia} \cdot 30 = 5818.73 \text{ tonne}$$

$$m_{biomasa.año} := m_{biomasa.dia} \cdot 333 = 64587.9 \text{ tonne} \quad (\text{por año, equivale 8000 h de operación})$$

SELECCIÓN CALDERA

Con estos últimos datos obtenidos de consumo de combustible [t/h], y los parámetros requeridos del vapor para la turbina: presión [bar], producción de vapor [t vapor/h] y temperatura del sobrecalentado [°C]:

$$m_{biomasa} = 8.08 \frac{tonne}{hr}$$

$$p_5 = 45 \text{ bar}$$

$$T_5 = 450 \text{ °C}$$

$$m'_{vapor} = 24.47 \frac{tonne}{hr}$$

Se seleccionará una caldera de tipo acuotubular de la empresa nacional FIMACO, la cual cuenta con una amplia experiencia en la realización de este tipo de proyectos.



<https://fimaco.com.ar/energia-y-biomasa/>

La caldera será de tipo MONODRUM con parrilla inclinada (grilla recíprocante) con la posibilidad eventual de ser alimentada con un 70% de chips de madera y un 30% de aserrín.

Para la alimentación de comburente, contará con ventiladores primarios ubicados por debajo de la parrilla y ventiladores secundarios en las paredes de la caldera que ayudarán a completar la combustión.

Y además poseerá los equipos correspondientes para evitar las emisiones de material particulado a la atmósfera.

Finalmente, las principales características de la caldera seleccionada son:

CALDERA	
PRESIÓN DE TRABAJO [bar]	45
PRODUCCIÓN DE VAPOR [t/h]	24,47
TEMPERATURA VAPOR SOBREALENTADO [°C]	450
TIPO COMBUSTIBLE	BIOMASA
CONSUMO DE COMBUSTIBLE [t/h]	8,08
RENDIMIENTO	0,87

SELECCIÓN CONDENSADOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO

Teniendo en cuenta las entalpías h_6 e h_1 , y la m'_{vapor} , entonces, la potencia que deberá disipar el condensador será de:

$$q_{out} := m'_{vapor} \cdot (h_6 - h_1) = 14.91 \text{ MW}$$

Para la selección del condensador y de la torre de enfriamiento, se calculará el caudal de recirculación necesario para disipar $q'_{out} = 14,91 \text{ MW}$.

Adoptando un salto térmico de 10°C , el cual es generalmente el salto de operación de las centrales de tipo térmicas, y considerando, como se mencionó en las suposiciones, la temperatura ambiente de 25°C la cual será a la que ingresa el agua al condensador desde su exterior, y teniendo en cuenta que la temperatura de salida del agua caliente será de 35°C , por lo tanto sus respectivos valores de entalpías, los cuales fueron obtenidos mediante el software "Computer-Aided Thermodynamic Tables 3" para el líquido comprimido serán:

Para la temperatura del agua de entrada:

$$T_{agua.entrada} := 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

se tiene una entalpía de:

$$h_i := 104.9 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Para la temperatura del agua de salida:

$$T_{agua.salida} := 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

se tiene una entalpía de:

$$h_f := 146.6 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$m_{ar} := \frac{q_{out}}{h_f - h_i} = 357.58 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$m_{ar} = 1287.29 \frac{\text{tonne}}{\text{hr}}$$

Teniendo en cuenta que la densidad del agua ρ_{agua} es de:

$$\rho_{agua} := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

El caudal de recirculación de agua de refrigeración que necesitará el sistema de enfriamiento será de:

$$Q_{recirc} := \frac{m_{ar}}{\rho_{agua}} = 1287.29 \frac{m^3}{hr}$$

Con estos últimos datos obtenidos de potencia a disipar [MW], presión [bar], caudal de recirculación [m³/h] y salto térmico [°C]:

$$q_{out} = 14.91 \text{ MW}$$

$$p_6 = 0.1 \text{ bar}$$

$$T_{agua.entrada} = 25 \text{ °C}$$

$$T_{agua.salida} = 35 \text{ °C}$$

$$\Delta T := 10 \text{ °C}$$

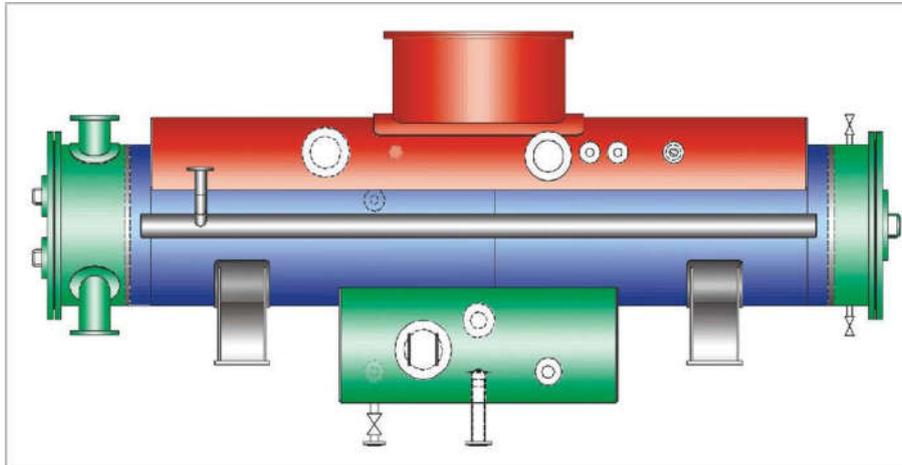
$$Q_{recirc} = 1287.29 \frac{m^3}{hr}$$

Se seleccionará el condensador de la empresa india MAZDA Limited, la cual es proveedora mundial de condensadores para plantas de pequeñas potencias hasta 25 MW, del tipo circular de carcasa y tubos de acero inoxidable.



<http://mazdalimited.com/product-catalogue.html>

El mismo contará con sistema de desaireación incorporado, el cual es fundamental para la correcta operación del ciclo termodinámico.



<http://mazdalimited.com/product-catalogue.html>

Finalmente, las principales características del condensador seleccionado son:

CONDENSADOR	
POTENCIA A DISIPAR [MW]	14,91
PRESIÓN DE TRABAJO [bar]	0,1
SALTO TÉRMICO [°C]	10
TEMPERATURA AGUA DE ENTRADA [°C]	25
TEMPERATURA AGUA DE SALIDA [°C]	35
CAUDAL DE RECIRCULACIÓN [m3/h]	1287,29
MATERIAL TUBOS CONDENSADOR	ACERO INOXIDABLE (SS)

Luego, para completar el sistema de refrigeración de la central, las torres de enfriamiento se seleccionarán de la empresa nacional Tecno Tower, la misma cuenta con gran experiencia en proyectos de la misma índole en el país.

La principal característica que tiene este tipo de torre es la facilidad que tiene de acceso a su interior, lo cual representa una cuestión fundamental a la hora de las tareas de supervisión y mantenimiento.



<http://www.tecno-tower.com.ar/modulares.pdf>

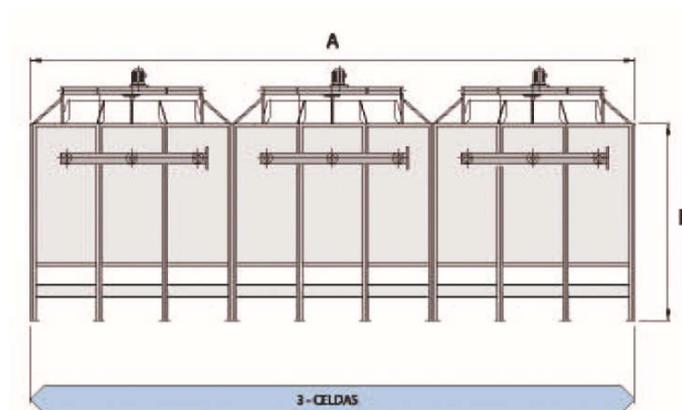
Las torres serán del tipo MODULAR, cada una de las celdas admite un caudal de circulación hasta $600 \frac{m^3}{hr}$, por lo tanto se seleccionan tres celdas para poder recircular adecuadamente los $1287.29 \frac{m^3}{hr}$.

El caudal total admisible por las tres celdas de la torre será de:

$$Q_{admissible.recirc} := 3 \cdot 600 \frac{m^3}{hr} = 1800 \frac{m^3}{hr}$$

con lo cual, las mismas serán capaces de transportar el caudal necesario de recirculación Q_{recirc} .

Finalmente, las principales características de las torres de enfriamiento Tecno Tower son:



<http://www.tecno-tower.com.ar/folletos/modulares.pdf>

El caudal de agua de reposición a las torres será de aproximadamente un 2% del caudal de recirculación del sistema de enfriamiento:

$$Q_{recirc} = 1287.29 \frac{m^3}{hr}$$

$$Q_{reposición} := 0.02 \cdot Q_{recirc} = 25.75 \frac{m^3}{hr}$$

Este aporte de agua tratada será fundamental para compensar las pérdidas debidas a las purgas y a la evaporación del agua en las torres de refrigeración, y así lograr mantener dentro de ciertos niveles permisibles el caudal de recirculación Q_{recirc} .

Es importante notar que para obtener este caudal de reposición $Q_{reposición}$, se deberá contar con al menos, una cantidad de agua bruta un 30% superior a los $25.75 \frac{m^3}{hr}$, debido a que, dada la calidad del agua de extracción en el emplazamiento de la central se puede obtener aproximadamente un 70% de agua tratada por cada $1 m^3$ de agua bruta, mediante el proceso de tratamiento del agua de extracción. El mismo fue detallado en el Estudio Técnico.

Finalmente, las principales características de las torres de enfriamiento seleccionadas son:

TORRE DE ENFRIAMIENTO	
TIPO	MODULAR
CAPACIDAD MAX POR CELDA [m3/h]	600
NÚMERO DE CELDAS	3
DIMENSIONES [mm]	14600X3600
PESO [Kg]	20000
POTENCIA [kW]	3x37
CAUDAL DE RECIRCULACIÓN [m3/h]	1287,29
CAUDAL DE REPOSICIÓN [m3/h]	25,75
ESTRUTURA EXTERNA	PRFV

SELECCIÓN BOMBA

Por último, teniendo en cuenta la W_{bomba} , la m_{ciclo} , y que la misma deberá incrementar la presión del fluido desde p_1 hasta p_2 , se seleccionará la bomba para cumplir los requisitos mencionados:

$$p_1 = 0.1 \text{ bar}$$

$$p_2 = 45 \text{ bar}$$

$$W_{bomba} = (5.24 \cdot 10^3) \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$m_{ciclo} := m'_{vapor} = 24.47 \frac{\text{tonne}}{\text{hr}}$$

la potencia eléctrica necesaria de la bomba será de:

$$P_{bomba} := m_{ciclo} \cdot W_{bomba} = 35.6 \text{ kW}$$

$$P_{bomba} = 47.74 \text{ hp}$$

De lo cual, se adopta una potencia de 60 **hp**, ya que es el valor de potencia más próximo que ofrece el fabricante.

La bomba que se seleccionará será de tipo centrífuga de la empresa danesa GRUNDFOS, la cual es elegida, ya que cuenta con un importante proveedor en la zona del emplazamiento de la central.



Como se mencionó, este equipo es fundamental, ya que será la encargada de elevar la presión del fluido desde la presión a la salida del condensador de 0.1 **bar** hasta la presión de ingreso a la caldera de 45 **bar**.

Finalmente, las principales características de la bomba seleccionada son:

BOMBA DE ALIMENTACIÓN	
RENDIMIENTO	0,86
POTENCIA [kW]	45
VELOCIDAD NOMINAL [rpm]	2975
NÚMERO DE POLOS	2
COS φ	0,89
FRECUENCIA [Hz]	50
TENSIÓN [V]	3 x 380/660
CAUDAL [m ³ /h]	25

• **RENDIMIENTO TÉRMICO DEL CICLO**

Hallando primeramente el calor que ingresa al ciclo q_{in}

$$q_{in} := h_5 - h_2 = (3.127 \cdot 10^6) \frac{J}{kg}$$

Y recordando que el trabajo producido por la turbina $W_{turbina}$ es:

$$W_{turbina} = (9.2 \cdot 10^5) \frac{J}{kg}$$

Finalmente, se obtendrá el rendimiento térmico del ciclo termodinámico:

$$\eta_{térmico} := \frac{W_{turbina}}{q_{in}} = 0.29$$

El cual es un valor aceptable de rendimiento, ya que se encuentra en el rango de valores típicos de una central de tipo térmica.

- **RENDIMIENTO DEL CICLO**

Tomando en cuenta la potencia generada $P'_{sal.gen}$ [MW], y considerando la potencia consumida por los servicios auxiliares necesario para el correcto funcionamiento del ciclo de potencia $P_{serv.aux}$ [MW]:

$$P'_{sal.gen} = 4.75 \text{ MW}$$

$$P_{serv.aux} := 500 \text{ kW}$$

La potencia eléctrica neta producida por el ciclo será:

$$P_{eléc.neta} := P'_{sal.gen} - P_{serv.aux} = 4.25 \text{ MW}$$

Y recordando que la potencia calorífica necesaria que se debe suministrar a la caldera es de:

$$q'_{cald} = 21.26 \text{ MW}$$

El rendimiento final que se obtendrá del ciclo descontando la potencia eléctrica consumida por la central será:

$$\eta_{ciclo} := \frac{P_{eléc.neta}}{q'_{cald}} = 0.2$$

• ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL CICLO RANKINE

A modo de resumen, se mostrará el balance energético de los cuatro procesos que conforman el Ciclo Rankine.

Dados los valores de entalpía obtenidos en los cálculos precedentes:

$$h_1 = (191.81 \cdot 10^3) \frac{J}{kg}$$

$$h_2 = (197.05 \cdot 10^3) \frac{J}{kg}$$

$$h_5 = (3.32 \cdot 10^6) \frac{J}{kg}$$

$$h_{5'} = (3.31 \cdot 10^6) \frac{J}{kg}$$

$$h_6 = (2.39 \cdot 10^6) \frac{J}{kg}$$

La relación de conservación de energía para cada dispositivo se expresa como:

- Bomba ($q = 0$):

$$W_{bomba} := h_2 - h_1 = (5.24 \cdot 10^3) \frac{J}{kg}$$

- Caldera ($W = 0$):

$$q_{in} := h_5 - h_2 = (3.13 \cdot 10^6) \frac{J}{kg}$$

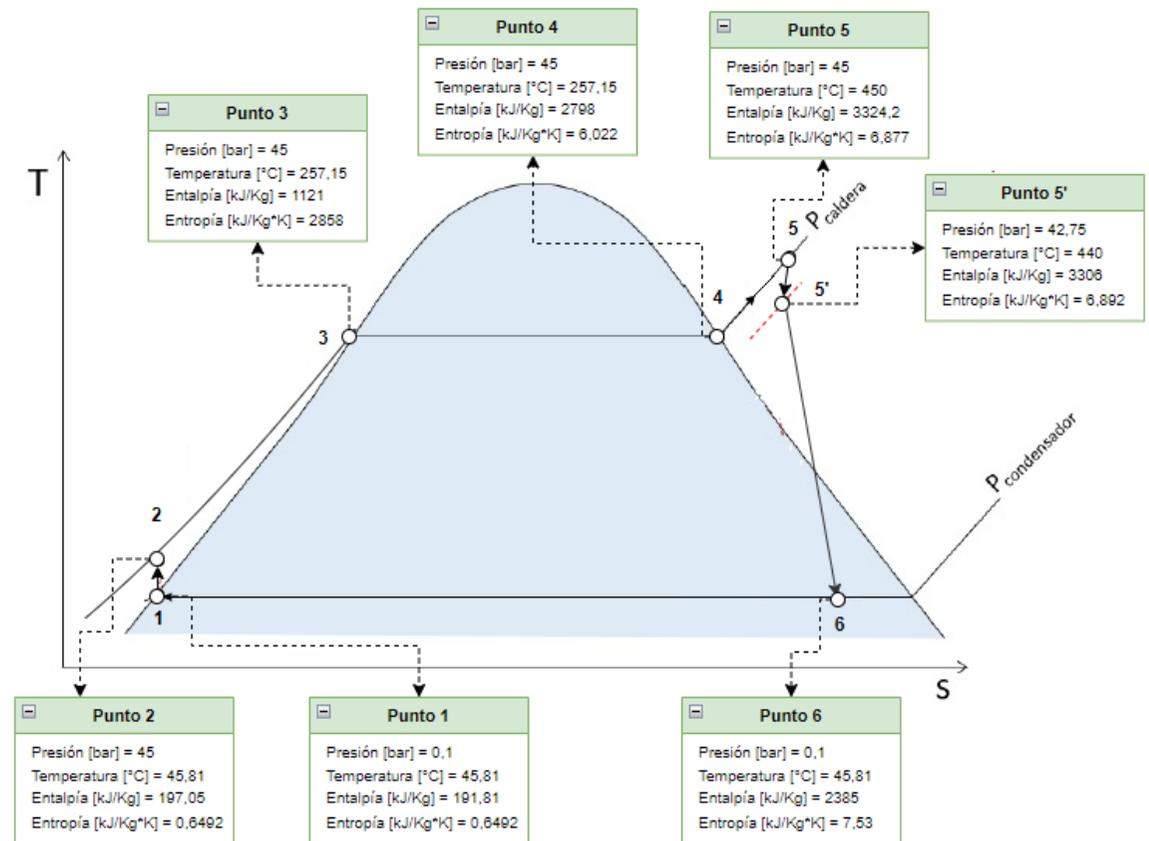
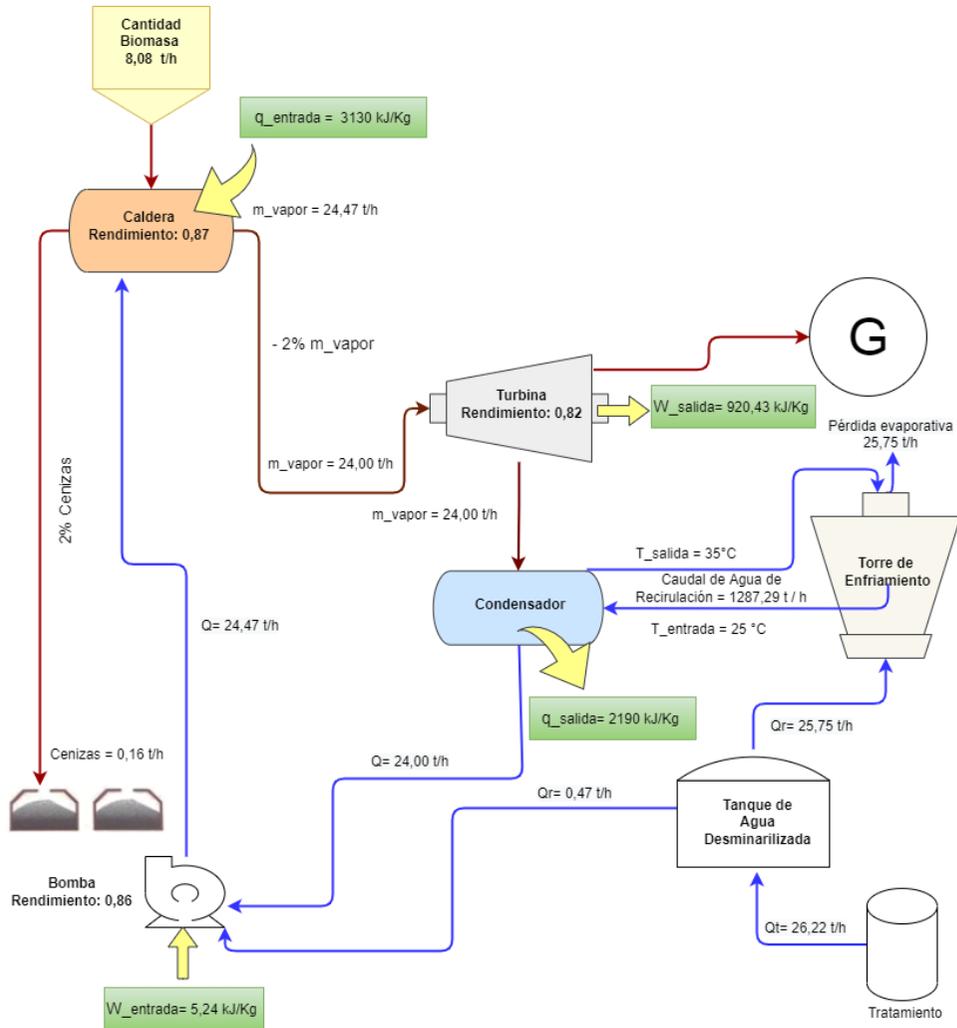
- Turbina ($q = 0$):

$$W_{turbina} := h_{5'} - h_6 = (920.43 \cdot 10^3) \frac{J}{kg}$$

- Condensador ($W = 0$):

$$q_{out} := h_6 - h_1 = (2.19 \cdot 10^6) \frac{J}{kg}$$

A continuación se observa el flujograma del proceso y todos los parámetros que caracterizan al fluido de trabajo en los distintos puntos del ciclo de potencia.





BioGen ER
Generación Limpia

ESTUDIO ECONÓMICO - FINANCIERO

En este apartado se busca determinar la factibilidad del proyecto desde el punto de vista de uno de los tres pilares del proyecto, del económico financiero.



AUTOR: KLOSTER, DANIEL ALEJANDRO
CARRERA: INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROFESOR:
ING. SCHATTENHOFER, FEDERICO ARNOLDO

2021

TUTORES:

CR. ALVAREZ, CARLOS ARTURO
ING. BASGALL, LUIS AGUSTÍN
ING. FORNILLO, OCTAVIO JAVIER

UTN Concordia
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Facultad Regional Concordia

Estudio Económico y Financiero



BioGen ER surge como una solución al sector Foresto - Industria. Es un proyecto de generación de energía eléctrica de 4,5 MW a partir de biomasa forestal (Chips de madera).

Mediante este análisis se pretende determinar la factibilidad del proyecto desde uno de sus 3 pilares, el Económico – Financiero.

El flujo de fondos se llevó a cabo a 20 años, ya que se considera un período considerable para este tipo de proyectos.

Ingresos del proyecto:

- La venta de energía a CAMMESA, al precio base adjudicado por RenovAr 2.
- Ahorro por autoabastecimiento de energía.
- La venta de Cenizas como fertilizante de suelo.
- Los beneficios otorgados por acceder al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), Bonos de Carbono.

Egresos del proyecto:

- Inversión inicial.
- Costo de poner en planta la Materia Prima.
- Costos de Mano de Obra.
- Costos de Operación y Mantenimiento.

Escenario 1:

- Inversión Inicial de U\$\$ 9.450.000.
- No se considera valor residual del proyecto.
- Se considera una depreciación anual lineal sobre el total de la inversión.
- El impuesto a las Ganancias se considera del 35%.
- El Factor de Emisión de la Red Eléctrica Argentina es de 0,647 tCO2/MWh generado.

Tabla 1: Inversión y Amortización

Total de Inversiones [U\$\$]	9.450.000
Total depreciación [U\$\$/año]	472.500

En la **Tabla 1** se muestra la inversión inicial, la misma se establece en base a la cotización brindada por la empresa FIMACO, en concepto de: obra civil, equipos principales (Bomba, Caldera, Condensador, Turbina, Generador), equipos auxiliares y montaje, tal como se lista en la tabla "**Detalle de Inversión**".

A la cotización brindada se le aplica un margen de seguridad del 5%.

Detalle de Inversión
Equipamiento General
Caldera de Vapor
Bomba
Condensador
Turbina de Vapor
Sistema de Agua de Circulación
Sistema de Tratamiento de Agua
Sistema Contra Incendio
Torres de Enfriamiento
Chimenea de emisión de Gases
Sistema de Extracción de Cenizas
Sistema de Suministro de Biomasa a la Caldera
Sistema de Recepción y Almacenamiento de Biomasa
Equipamiento Redundante
Suministro y Montaje Eléctrico
Generador Eléctrico
Transformador
Sistema de Iluminación y Alumbrado
Sistemas de Protección y Puesta a Tierra
Sistema Generador de Emergencia Diésel
Montaje Equipamiento Eléctrico
Obras Civiles
Edificio Turbina/Generador
Edificio Caldera y Equipos Auxiliares
Oficina, Laboratorio, Baños, Hall de Acceso, Cafetería
Depósito de Cenizas
Edificio de Almacenamiento
Subestación Transformadora



Tabla 2: Datos Generales	
Descripción	Datos
Vida útil del proyecto [años]	20
Cantidad de Energía Consumida por la Central [MWh/año]	4.000
Precio de Mercado de la Energía [US\$/MWh]	60
Cantidad de Energía a vender a CAMMESA [MWh/año]	32.000
Precio de venta Prom. Adjudicado por Contrato [US\$/MWh]	125
Precio de mercado de los Bonos de Carbono [US\$/tCO ₂]	22
Factor de Emisión de la Red Eléctrica Argentina [tCO ₂ /MWh]	0,66
Cantidad de Biomasa Utilizada [t/año]	64.588
Cantidad de Ceniza Generada [t/año]	1.292
Precio de Venta de la Ceniza [US\$/t]	10
Costo de Materia Prima puesta en Planta [US\$/t]	7,00
Cantidad de Empleados	20
Costo de Mano de Obra Promedio [US\$/persona]	2.000
Costo de Operación y Mantenimiento [US\$/MWh]	12,00
Impuesto a las Ganancias	35%

La **Tabla 2**, muestra los datos generales para el desarrollo del proyecto.



En la **Tabla 3**, se muestran los Ingresos, Egresos y Flujos Netos del Proyecto.

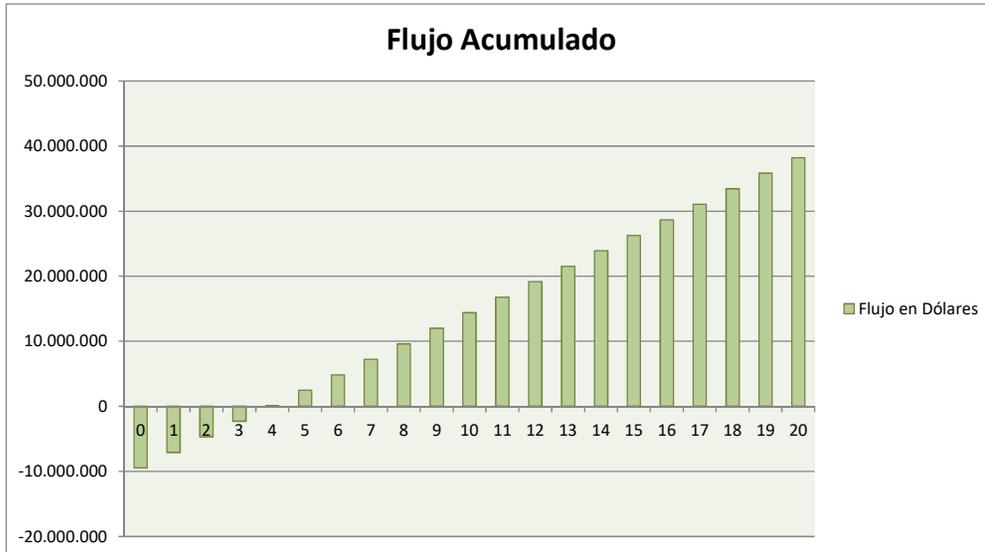
Tabla 3: Flujo de Caja					
Año	1	2	3	4	5
Ingresos Totales [US\$]	4.775.638	4.775.638	4.775.638	4.775.638	4.775.638
Ingreso por Venta de Energía [US\$]	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Ahorro por Autoabastecimiento de Energía [US\$]	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000
Ingreso por Venta de Cenizas [US\$]	12.918	12.918	12.918	12.918	12.918
Ingreso por Venta de Bonos de Carbono [US\$]	522.720	522.720	522.720	522.720	522.720
Egresos Totales [US\$]	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615
Costo de Materia Prima + Flete [US\$]	452.115	452.115	452.115	452.115	452.115
Costos de Operación y Mantenimiento [US\$]	432.000	432.000	432.000	432.000	432.000
Sueldos [US\$]	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000
Depreciación [US\$]	472.500	472.500	472.500	472.500	472.500
Utilidad antes de impuestos [US\$]	2.939.022	2.939.022	2.939.022	2.939.022	2.939.022
Impuesto a las Ganancias [US\$]	1.028.658	1.028.658	1.028.658	1.028.658	1.028.658
Flujo Neto [US\$]	2.382.864	2.382.864	2.382.864	2.382.864	2.382.864
Año	6	7	8	9	10
Ingresos Totales [US\$]	4.775.638	4.775.638	4.775.638	4.775.638	4.775.638
Ingreso por Venta de Energía [US\$]	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Ahorro por Autoabastecimiento de Energía [US\$]	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000
Ingreso por Venta de Cenizas [US\$]	12.918	12.918	12.918	12.918	12.918
Ingreso por Venta de Bonos de Carbono [US\$]	522.720	522.720	522.720	522.720	522.720
Egresos Totales [US\$]	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615
Costo de Materia Prima + Flete [US\$]	452.115	452.115	452.115	452.115	452.115
Costos de Operación y Mantenimiento [US\$]	432.000	432.000	432.000	432.000	432.000
Sueldos [US\$]	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000
Depreciación [US\$]	472.500	472.500	472.500	472.500	472.500
Utilidad antes de impuestos [US\$]	2.939.022	2.939.022	2.939.022	2.939.022	2.939.022
Impuesto a las Ganancias [US\$]	1.028.658	1.028.658	1.028.658	1.028.658	1.028.658
Flujo Neto [US\$]	2.382.864	2.382.864	2.382.864	2.382.864	2.382.864



Año	11	12	13	14	15
Ingresos Totales [US\$]	4.775.638	4.775.638	4.775.638	4.775.638	4.775.638
Ingreso por Venta de Energía [US\$]	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Ahorro por Autoabastecimiento de Energía [U\$]	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000
Ingreso por Venta de Cenizas [US\$]	12.918	12.918	12.918	12.918	12.918
Ingreso por Venta de Bonos de Carbono [US\$]	522.720	522.720	522.720	522.720	522.720
Egresos Totales [US\$]	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615
Costo de Materia Prima + Flete [US\$]	452.115	452.115	452.115	452.115	452.115
Costos de Operación y Mantenimiento [US\$]	432.000	432.000	432.000	432.000	432.000
Sueldos [US\$]	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000
Depreciación [US\$]	472.500	472.500	472.500	472.500	472.500
Utilidad antes de impuestos [US\$]	2.939.022	2.939.022	2.939.022	2.939.022	2.939.022
Impuesto a las Ganancias [US\$]	1.028.658	1.028.658	1.028.658	1.028.658	1.028.658
Flujo Neto [US\$]	2.382.864	2.382.864	2.382.864	2.382.864	2.382.864
Año	16	17	18	19	20
Ingresos Totales [US\$]	4.775.638	4.775.638	4.775.638	4.775.638	4.775.638
Ingreso por Venta de Energía [US\$]	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Ahorro por Autoabastecimiento de Energía [U\$]	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000
Ingreso por Venta de Cenizas [US\$]	12.918	12.918	12.918	12.918	12.918
Ingreso por Venta de Bonos de Carbono [US\$]	522.720	522.720	522.720	522.720	522.720
Egresos Totales [US\$]	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615
Costo de Materia Prima + Flete [US\$]	452.115	452.115	452.115	452.115	452.115
Costos de Operación y Mantenimiento [US\$]	432.000	432.000	432.000	432.000	432.000
Sueldos [US\$]	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000
Depreciación [US\$]	472.500	472.500	472.500	472.500	472.500
Utilidad antes de impuestos [US\$]	2.939.022	2.939.022	2.939.022	2.939.022	2.939.022
Impuesto a las Ganancias [US\$]	1.028.658	1.028.658	1.028.658	1.028.658	1.028.658
Flujo Neto [US\$]	2.382.864	2.382.864	2.382.864	2.382.864	2.382.864



Indicadores Financieros sin Financiamiento	
Valor Actual Neto VAN [US\$]	17.881.268
Tasa Rendimiento Capital Propio	6,00%
Tasa Interna de Retorno TIR	24,92%
Inversión [US\$]	9.450.000



Periodo de Repago		
Periodo	Flujo Neto	Flujo de caja acumulado descontado
0	-9.450.000	-9.450.000
1	2.382.864	-7.067.136
2	2.382.864	-4.684.271
3	2.382.864	-2.301.407
4	2.382.864	81.458
5	2.382.864	2.464.322
6	2.382.864	4.847.187
7	2.382.864	7.230.051
8	2.382.864	9.612.916
9	2.382.864	11.995.780
10	2.382.864	14.378.645
11	2.382.864	16.761.509
12	2.382.864	19.144.374
13	2.382.864	21.527.238
14	2.382.864	23.910.103
15	2.382.864	26.292.967
16	2.382.864	28.675.832
17	2.382.864	31.058.696
18	2.382.864	33.441.561
19	2.382.864	35.824.425
20	2.382.864	38.207.290

PRI	3,97
------------	------



Teniendo en cuenta las consideraciones para este escenario del proyecto, el mismo se repaga a los 4 años.

Estudio Económico y Financiero



Escenario 2:

- Inversión Inicial de US\$ 9.450.000.
- No se considera valor residual del proyecto.
- Se considera una depreciación anual lineal sobre el total de la inversión.
- El impuesto a las Ganancias se considera del 35%.
- No se logra aplicar a los bonos de carbono, por lo que el proyecto ya no cuenta con este ingreso.

Tabla 1: Inversión y Amortización

Total de Inversiones [US\$]	9.450.000
Total depreciación [US\$/año]	472.500

En la **Tabla 1** se muestra la inversión inicial, la misma se establece en base a la cotización brindada por la empresa FIMACO, en concepto de: obra civil, equipos principales (Bomba, Caldera, Condensador, Turbina, Generador), equipos auxiliares y montaje, tal como se lista en la tabla "**Detalle de Inversión**". A la cotización brindada se le aplica un margen de seguridad del 5%.

Tabla 2: Datos Generales

Descripción	Datos
Vida útil del proyecto [años]	20
Cantidad de Energía Consumida por la Central [MWh/año]	4.000
Precio de Mercado de la Energía [US\$/MWh]	60
Cantidad de Energía a vender a CAMMESA [MWh/año]	32.000
Precio de venta Prom. Adjudicado por Contrato [US\$/MWh]	125
Precio de mercado de los Bonos de Carbono [US\$/tCO ₂]	22
Factor de Emisión de la Red Eléctrica Argentina [tCO ₂ /MWh]	0,66
Cantidad de Biomasa Utilizada [t]	64.588
Cantidad de Ceniza Generada [t]	1.292
Precio de Venta de la Ceniza [US\$/t]	10
Costo de Materia Prima puesta en Planta [US\$/t]	7,00
Cantidad de Empleados	20
Costo de Mano de Obra Promedio [US\$/persona]	2.000
Costo de Operación y Mantenimiento [US\$/MWh]	12,00
Impuesto a las Ganancias	35%

La **Tabla 2**, muestra los datos generales para el desarrollo del proyecto.

Detalle de Inversión
Equipamiento General
Caldera de Vapor
Bomba
Condensador
Turbina de Vapor
Sistema de Agua de Circulación
Sistema de Tratamiento de Agua
Sistema Contra Incendio
Torres de Enfriamiento
Chimenea de emisión de Gases
Sistema de Extracción de Cenizas
Sistema de Suministro de Biomasa a la Caldera
Sistema de Recepción y Almacenamiento de Biomasa
Equipamiento Redundante
Suministro y Montaje Eléctrico
Generador Eléctrico
Transformador
Sistema de Iluminación y Alumbrado
Sistemas de Protección y Puesta a Tierra
Sistema Generador de Emergencia Diésel
Montaje Equipamiento Eléctrico
Obras Civiles
Edificio Turbina/Generador
Edificio Caldera y Equipos Auxiliares
Oficina, Laboratorio, Baños, Hall de Acceso, Cafeteria
Depósito de Cenizas
Edificio de Almacenamiento
Subestación Transformadora



En la **Tabla 3**, se muestran los Ingresos, Egresos y Flujos Netos del Proyecto.

Tabla 3: Flujo de Caja					
Año	1	2	3	4	5
Ingresos Totales [US\$]	4.252.918	4.252.918	4.252.918	4.252.918	4.252.918
Ingreso por Venta de Energía [US\$]	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Ahorro por Autoabastecimiento de Energía [US\$]	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000
Ingreso por Venta de Cenizas [US\$]	12.918	12.918	12.918	12.918	12.918
Egresos Totales [US\$]	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615
Costo de Materia Prima + Flete [US\$]	452.115	452.115	452.115	452.115	452.115
Costos de Operación y Mantenimiento [US\$]	432.000	432.000	432.000	432.000	432.000
Sueldos [US\$]	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000
Depreciación [US\$]	472.500	472.500	472.500	472.500	472.500
Utilidad antes de impuestos [US\$]	2.416.302	2.416.302	2.416.302	2.416.302	2.416.302
Impuesto a las Ganancias [US\$]	845.706	845.706	845.706	845.706	845.706
Flujo Neto [US\$]	2.043.096	2.043.096	2.043.096	2.043.096	2.043.096
Año	6	7	8	9	10
Ingresos Totales [US\$]	4.252.918	4.252.918	4.252.918	4.252.918	4.252.918
Ingreso por Venta de Energía [US\$]	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Ahorro por Autoabastecimiento de Energía [US\$]	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000
Ingreso por Venta de Cenizas [US\$]	12.918	12.918	12.918	12.918	12.918
Egresos Totales [US\$]	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615
Costo de Materia Prima + Flete [US\$]	452.115	452.115	452.115	452.115	452.115
Costos de Operación y Mantenimiento [US\$]	432.000	432.000	432.000	432.000	432.000
Sueldos [US\$]	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000
Depreciación [US\$]	472.500	472.500	472.500	472.500	472.500
Utilidad antes de impuestos [US\$]	2.416.302	2.416.302	2.416.302	2.416.302	2.416.302
Impuesto a las Ganancias [US\$]	845.706	845.706	845.706	845.706	845.706
Flujo Neto [US\$]	2.043.096	2.043.096	2.043.096	2.043.096	2.043.096

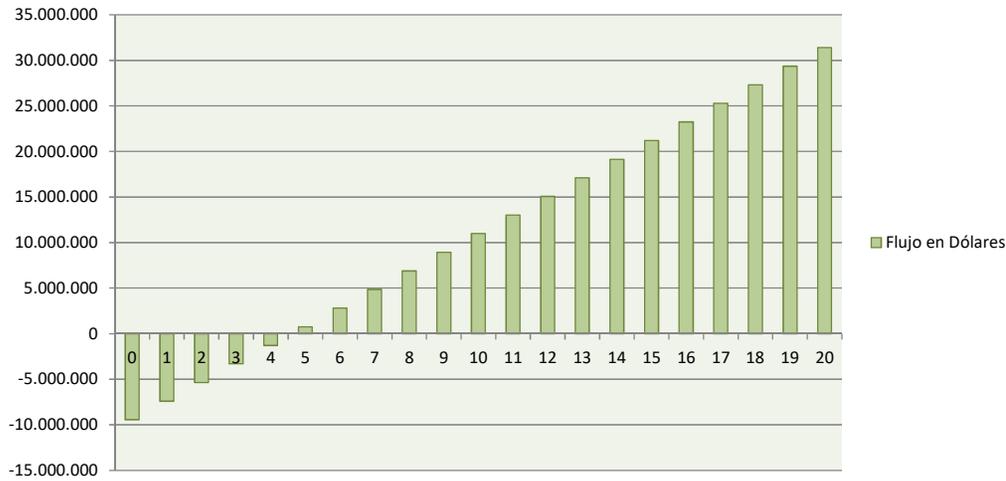


Año	11	12	13	14	15
Ingresos Totales [US\$]	4.252.918	4.252.918	4.252.918	4.252.918	4.252.918
Ingreso por Venta de Energía [US\$]	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Ahorro por Autoabastecimiento de Energía [US\$]	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000
Ingreso por Venta de Cenizas [US\$]	12.918	12.918	12.918	12.918	12.918
Egresos Totales [US\$]	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615
Costo de Materia Prima + Flete [US\$]	452.115	452.115	452.115	452.115	452.115
Costos de Operación y Mantenimiento [US\$]	432.000	432.000	432.000	432.000	432.000
Sueldos [US\$]	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000
Depreciación [US\$]	472.500	472.500	472.500	472.500	472.500
Utilidad antes de impuestos [US\$]	2.416.302	2.416.302	2.416.302	2.416.302	2.416.302
Impuesto a las Ganancias [US\$]	845.706	845.706	845.706	845.706	845.706
Flujo Neto [US\$]	2.043.096	2.043.096	2.043.096	2.043.096	2.043.096
Año	16	17	18	19	20
Ingresos Totales [US\$]	4.252.918	4.252.918	4.252.918	4.252.918	4.252.918
Ingreso por Venta de Energía [US\$]	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Ahorro por Autoabastecimiento de Energía [US\$]	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000
Ingreso por Venta de Cenizas [US\$]	12.918	12.918	12.918	12.918	12.918
Egresos Totales [US\$]	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615
Costo de Materia Prima + Flete [US\$]	452.115	452.115	452.115	452.115	452.115
Costos de Operación y Mantenimiento [US\$]	432.000	432.000	432.000	432.000	432.000
Sueldos [US\$]	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000
Depreciación [US\$]	472.500	472.500	472.500	472.500	472.500
Utilidad antes de impuestos [US\$]	2.416.302	2.416.302	2.416.302	2.416.302	2.416.302
Impuesto a las Ganancias [US\$]	845.706	845.706	845.706	845.706	845.706
Flujo Neto [US\$]	2.043.096	2.043.096	2.043.096	2.043.096	2.043.096



Indicadores Financieros sin Financiamiento	
Valor Actual Neto VAN [US\$]	13.984.156
Tasa Rendimiento Capital Propio	6,00%
Tasa Interna de Retorno TIR	21,15%
Inversión [US\$]	9.450.000

Flujo Acumulado



Período de Repago		
Período	Flujo Neto	Flujo de caja acumulado descontado
0	-9.450.000	-9.450.000
1	2.043.096	-7.406.904
2	2.043.096	-5.363.807
3	2.043.096	-3.320.711
4	2.043.096	-1.277.614
5	2.043.096	765.482
6	2.043.096	2.808.579
7	2.043.096	4.851.675
8	2.043.096	6.894.772
9	2.043.096	8.937.868
10	2.043.096	10.980.965
11	2.043.096	13.024.061
12	2.043.096	15.067.158
13	2.043.096	17.110.254
14	2.043.096	19.153.351
15	2.043.096	21.196.447
16	2.043.096	23.239.544
17	2.043.096	25.282.640
18	2.043.096	27.325.737
19	2.043.096	29.368.833
20	2.043.096	31.411.930

PRI	4,63
------------	------

Teniendo en cuenta las consideraciones para este escenario del proyecto, el mismo se repaga a los 4 años y 8 meses.

Estudio Económico y Financiero



Escenario 3:

- Inversión Inicial de U\$\$ 9.450.000.
- No se considera valor residual del proyecto.
- Se considera una depreciación anual lineal sobre el total de la inversión.
- El impuesto a las Ganancias se considera del 35%.
- No se logra aplicar a los bonos de carbono y no se encuentra mercado para la venta de cenizas, por lo que el proyecto ya no cuenta con estos ingresos.

Tabla 1: Inversión y Amortización

Total de Inversiones [US\$]	9.450.000
Total depreciación [US\$/año]	472.500

En la **Tabla 1** se muestra la inversión inicial, la misma se establece en base a la cotización brindada por la empresa FIMACO, en concepto de: obra civil, equipos principales (Bomba, Caldera, Condensador, Turbina, Generador), equipos auxiliares y montaje, tal como se lista en la tabla "**Detalle de Inversión**". A la cotización brindada se le aplica un margen de seguridad del 5%.

Tabla 2: Datos Generales

Descripción	Datos
Vida útil del proyecto [años]	20
Cantidad de Energía Consumida por la Central [MWh/año]	4.000
Precio de Mercado de la Energía [US\$/MWh]	60
Cantidad de Energía a vender a CAMMESA [MWh/año]	32.000
Precio de venta Prom. Adjudicado por Contrato [US\$/MWh]	125
Precio de mercado de los Bonos de Carbono [US\$/tCO ₂]	22
Factor de Emisión de la Red Eléctrica Argentina [tCO ₂ /MWh]	0,66
Cantidad de Biomasa Utilizada [t]	64.588
Cantidad de Ceniza Generada [t]	1.292
Precio de Venta de la Ceniza [US\$/t]	10
Costo de Materia Prima puesta en Planta [US\$/t]	7,00
Cantidad de Empleados	20
Costo de Mano de Obra Promedio [US\$/persona]	2.000
Costo de Operación y Mantenimiento [US\$/MWh]	12,00
Impuesto a las Ganancias	35%

La **Tabla 2**, muestra los datos generales para el desarrollo del proyecto.

Detalle de Inversión

Equipamiento General
Caldera de Vapor
Bomba
Condensador
Turbina de Vapor
Sistema de Agua de Circulación
Sistema de Tratamiento de Agua
Sistema Contra Incendio
Torres de Enfriamiento
Chimenea de emisión de Gases
Sistema de Extracción de Cenizas
Sistema de Suministro de Biomasa a la Caldera
Sistema de Recepción y Almacenamiento de Biomasa
Equipamiento Redundante
Suministro y Montaje Eléctrico
Generador Eléctrico
Transformador
Sistema de Iluminación y Alumbrado
Sistemas de Protección y Puesta a Tierra
Sistema Generador de Emergencia Diésel
Montaje Equipamiento Eléctrico
Obras Civiles
Edificio Turbina/Generador
Edificio Caldera y Equipos Auxiliares
Oficina, Laboratorio, Baños, Hall de Acceso, Cafetería
Depósito de Cenizas
Edificio de Almacenamiento
Subestación Transformadora



En la **Tabla 3**, se muestran los Ingresos, Egresos y Flujos Netos del Proyecto.

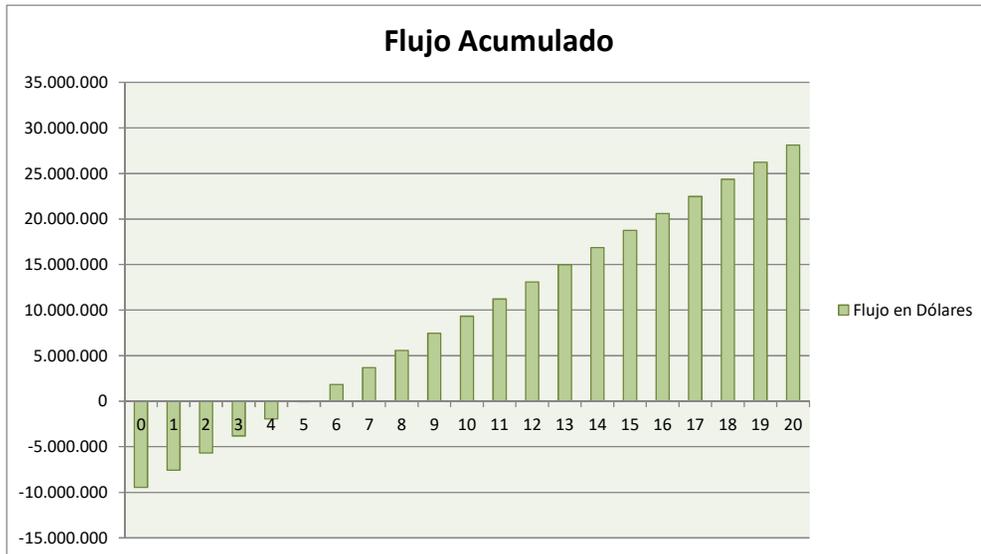
Tabla 3: Flujo de Caja					
Año	1	2	3	4	5
Ingresos Totales [US\$]	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Ingreso por Venta de Energía [US\$]	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Ahorro por Autoabastecimiento de Energía [US\$]	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000
Egresos Totales [US\$]	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615
Costo de Materia Prima + Flete [US\$]	452.115	452.115	452.115	452.115	452.115
Costos de Operación y Mantenimiento [US\$]	432.000	432.000	432.000	432.000	432.000
Sueldos [US\$]	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000
Depreciación [US\$]	472.500	472.500	472.500	472.500	472.500
Utilidad antes de impuestos [US\$]	2.163.385	2.163.385	2.163.385	2.163.385	2.163.385
Impuesto a las Ganancias [US\$]	757.185	757.185	757.185	757.185	757.185
Flujo Neto [US\$]	1.878.700	1.878.700	1.878.700	1.878.700	1.878.700
Año	6	7	8	9	10
Ingresos Totales [US\$]	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Ingreso por Venta de Energía [US\$]	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Ahorro por Autoabastecimiento de Energía [US\$]	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000
Egresos Totales [US\$]	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615
Costo de Materia Prima + Flete [US\$]	452.115	452.115	452.115	452.115	452.115
Costos de Operación y Mantenimiento [US\$]	432.000	432.000	432.000	432.000	432.000
Sueldos [US\$]	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000
Depreciación [US\$]	472.500	472.500	472.500	472.500	472.500
Utilidad antes de impuestos [US\$]	2.163.385	2.163.385	2.163.385	2.163.385	2.163.385
Impuesto a las Ganancias [US\$]	757.185	757.185	757.185	757.185	757.185
Flujo Neto [US\$]	1.878.700	1.878.700	1.878.700	1.878.700	1.878.700



Año	11	12	13	14	15
Ingresos Totales [US\$]	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Ingreso por Venta de Energía [US\$]	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Ahorro por Autoabastecimiento de Energía [U\$]	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000
Egresos Totales [US\$]	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615
Costo de Materia Prima + Flete [US\$]	452.115	452.115	452.115	452.115	452.115
Costos de Operación y Mantenimiento [US\$]	432.000	432.000	432.000	432.000	432.000
Sueldos [US\$]	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000
Depreciación [US\$]	472.500	472.500	472.500	472.500	472.500
Utilidad antes de impuestos [US\$]	2.163.385	2.163.385	2.163.385	2.163.385	2.163.385
Impuesto a las Ganancias [US\$]	757.185	757.185	757.185	757.185	757.185
Flujo Neto [US\$]	1.878.700	1.878.700	1.878.700	1.878.700	1.878.700
Año	16	17	18	19	20
Ingresos Totales [US\$]	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Ingreso por Venta de Energía [US\$]	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
Ahorro por Autoabastecimiento de Energía [U\$]	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000
Egresos Totales [US\$]	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615	-1.836.615
Costo de Materia Prima + Flete [US\$]	452.115	452.115	452.115	452.115	452.115
Costos de Operación y Mantenimiento [US\$]	432.000	432.000	432.000	432.000	432.000
Sueldos [US\$]	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000
Depreciación [US\$]	472.500	472.500	472.500	472.500	472.500
Utilidad antes de impuestos [US\$]	2.163.385	2.163.385	2.163.385	2.163.385	2.163.385
Impuesto a las Ganancias [US\$]	757.185	757.185	757.185	757.185	757.185
Flujo Neto [US\$]	1.878.700	1.878.700	1.878.700	1.878.700	1.878.700



Indicadores Financieros sin Financiamiento	
Valor Actual Neto VAN [US\$]	12.098.542
Tasa Rendimiento Capital Propio	6,00%
Tasa Interna de Retorno TIR	19,30%
Inversión [US\$]	9.450.000



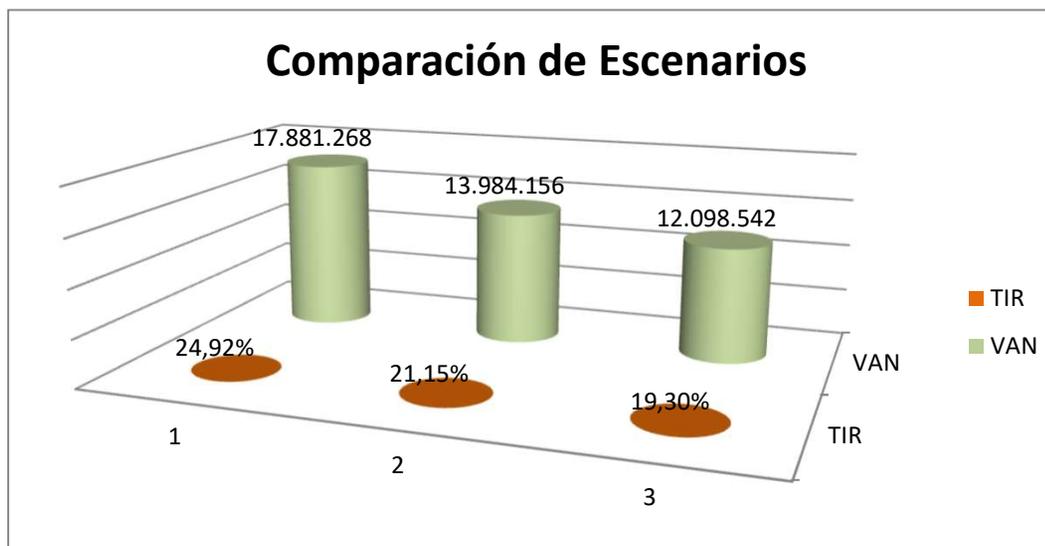
Período de Repago		
Período	Flujo Neto	Flujo de caja acumulado descontado
0	-9.450.000	-9.450.000
1	1.878.700	-7.571.300
2	1.878.700	-5.692.600
3	1.878.700	-3.813.900
4	1.878.700	-1.935.200
5	1.878.700	-56.500
6	1.878.700	1.822.200
7	1.878.700	3.700.900
8	1.878.700	5.579.600
9	1.878.700	7.458.300
10	1.878.700	9.337.001
11	1.878.700	11.215.701
12	1.878.700	13.094.401
13	1.878.700	14.973.101
14	1.878.700	16.851.801
15	1.878.700	18.730.501
16	1.878.700	20.609.201
17	1.878.700	22.487.901
18	1.878.700	24.366.601
19	1.878.700	26.245.301
20	1.878.700	28.124.001

PRI	5,03
-----	------

➔ Teniendo en cuenta las consideraciones para este escenario del proyecto, el mismo se repaga a los 5 años.



Escenario	TIR	VAN	Periodo de Repago (en Años)
1	24,92%	17.881.268	3,97
2	21,15%	13.984.156	4,63
3	19,30%	12.098.542	5,03



Luego de llevar a cabo el análisis de los diversos escenarios del proyecto se llega a la conclusión, de que si bien se requiere de una gran inversión inicial, el mismo resulta ser atractivo desde el punto de vista del inversor, ya que los escenarios arrojan valores de VAN y TIR altos. Además el proyecto se repaga en todos los escenarios siempre antes o en el quinto año, lo que es relativamente rápido, dado que estamos hablando del 25% de la vida útil económica del proyecto. Al mismo tiempo el ingreso más representativo del proyecto, es decir, la venta de energía a CAMMESA, se encuentra asegurado por contrato a 20 años, bajo el marco del programa RenoVar, dando un respaldo y seguridad al Inversor.



BioGen ER
Generación Limpia

PLANOS



AUTOR: KLOSTER, DANIEL ALEJANDRO
CARRERA: INGENIERÍA INDUSTRIAL

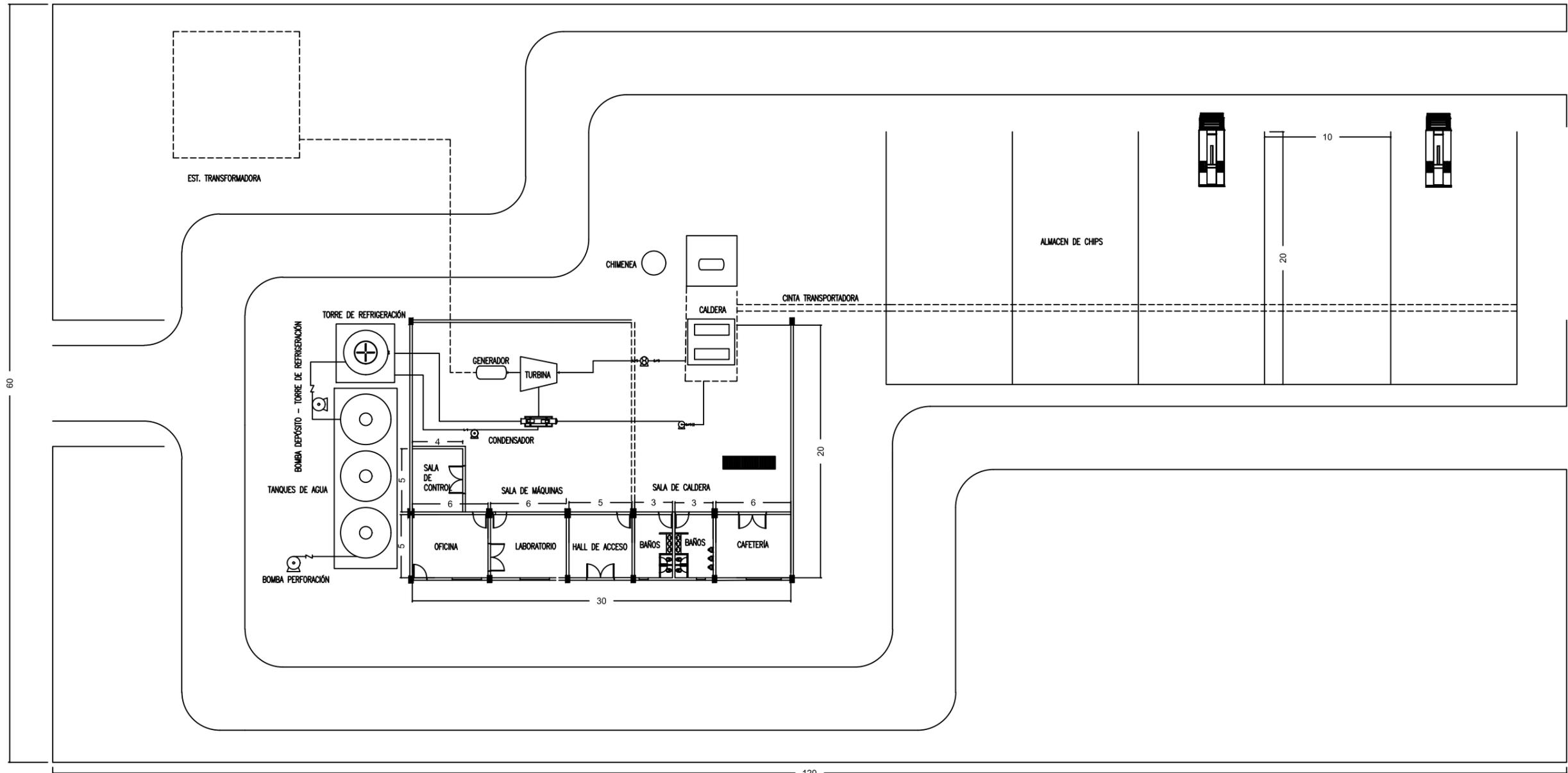
PROFESOR:
ING. SCHATTENHOFER, FEDERICO ARNOLDO

2021

TUTORES:

CR. ALVAREZ, CARLOS ARTURO
ING. BASGALL, LUIS AGUSTÍN
ING. FORNILLO, OCTAVIO JAVIER

UTN Concordia
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Concordia



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
 FACULTAD REGIONAL CONCORDIA



Planta Generadora de Energía Eléctrica de 4,5 MW a partir de Biomasa Forestal

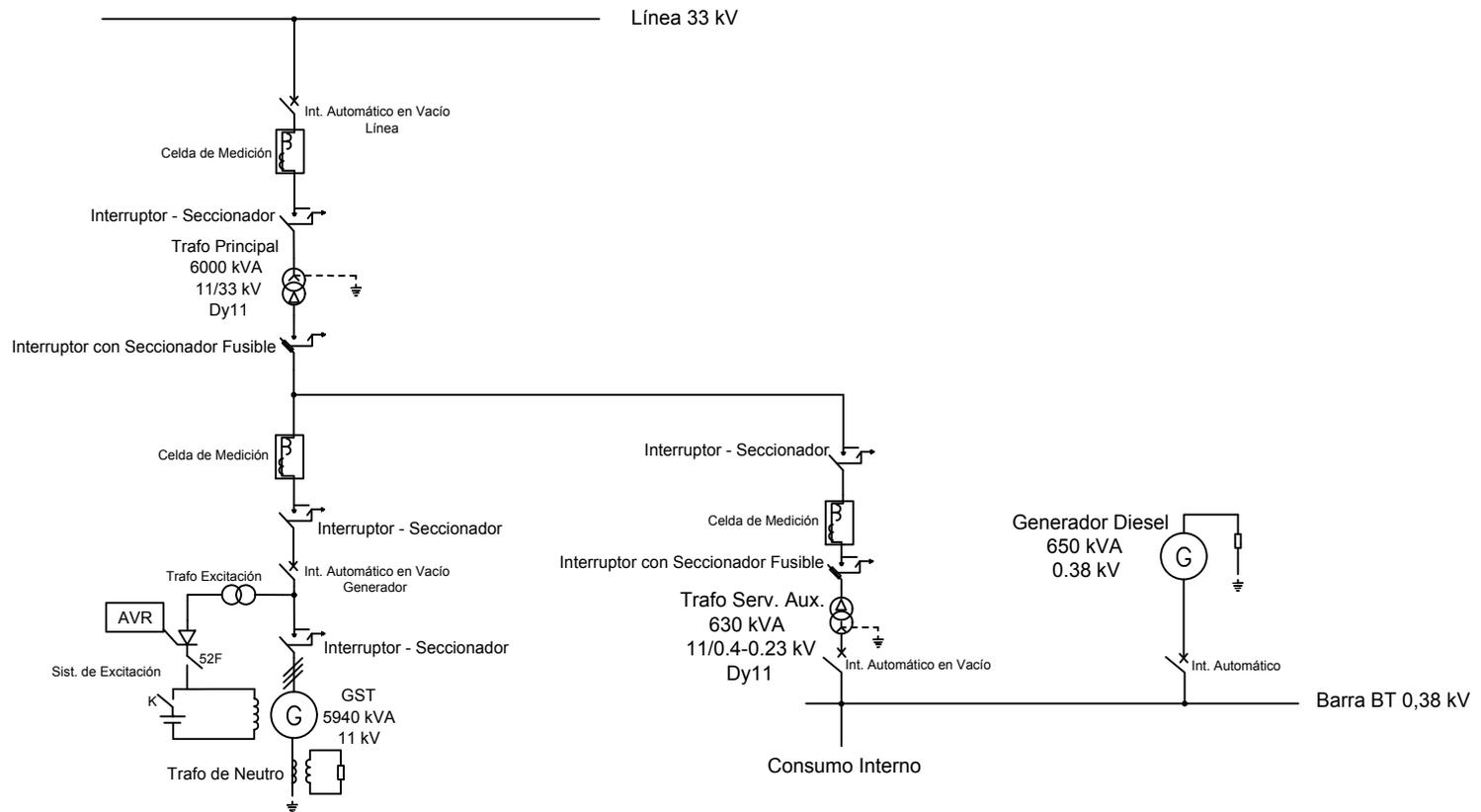
Año: 2021

AUTOR: KLOSTER, DANIEL ALEJANDRO

E: 1:1

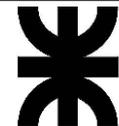
CARRERA: INGENIERÍA INDUSTRIAL

PL. N°1



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL CONCORDIA



Esquema Unifilar de Distribución de la Central

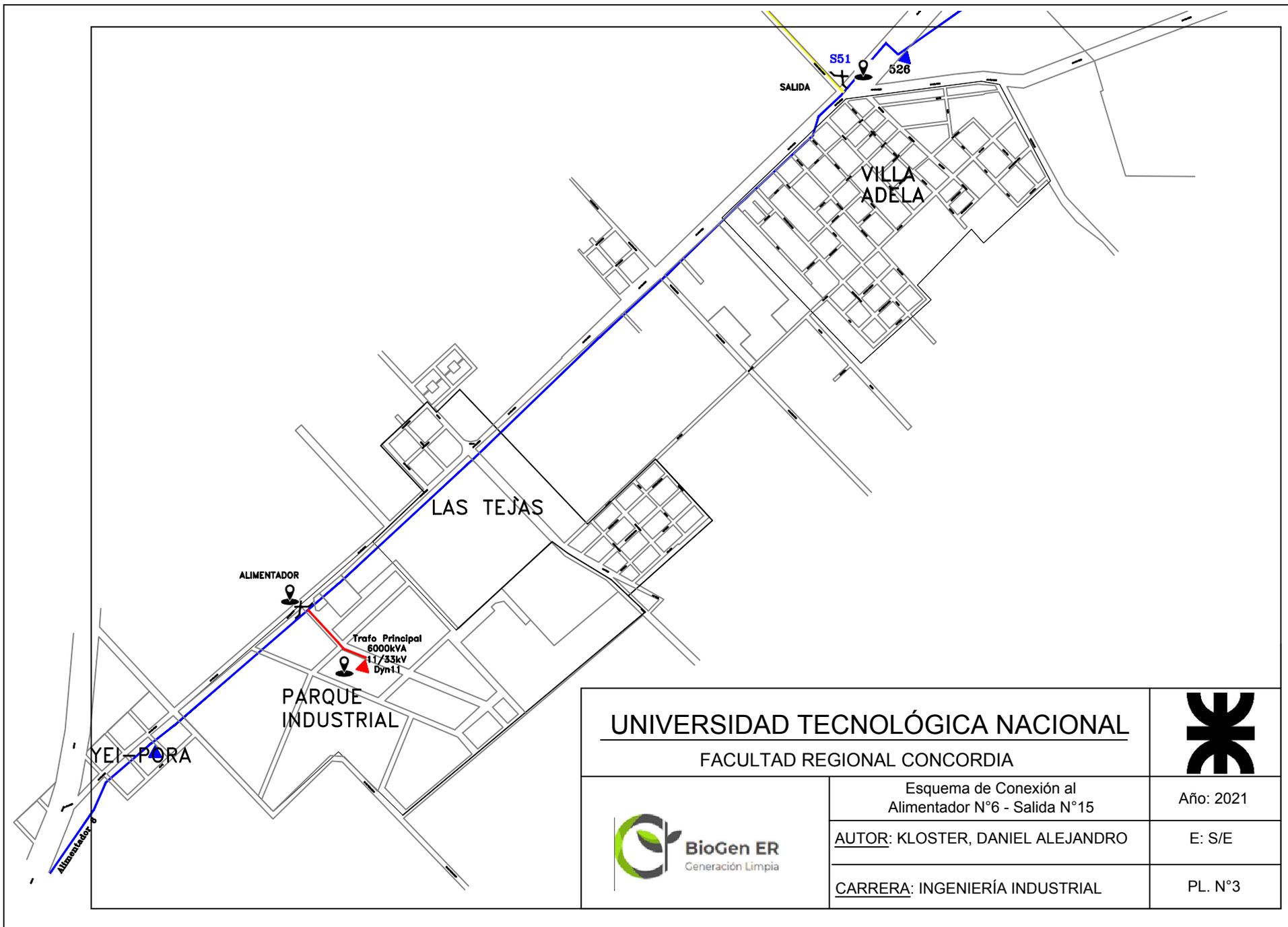
Año: 2021

AUTOR: KLOSTER, DANIEL ALEJANDRO

E: S/E

CARRERA: INGENIERÍA INDUSTRIAL

PL. N°2



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL CONCORDIA



Esquema de Conexión al
 Alimentador N°6 - Salida N°15

Año: 2021

AUTOR: KLOSTER, DANIEL ALEJANDRO

E: S/E

CARRERA: INGENIERÍA INDUSTRIAL

PL. N°3