



# UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

## TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

“IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS ADECUADOS  
EN LA COGENERACIÓN DE LA FÁBRICA  
AZUCARERA TUMÁN - CHICLAYO”

Presentado Por:

Bach. MICHAEL SMITH CRUZADO ROJAS

Asesor:

Ing. NECIOSUP INCIO CARLOS ENRIQUE

LAMBAYEQUE – PERÚ

Abril del 2019



# UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

## TESIS

Para Optar el Título Profesional de  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

“IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS ADECUADOS EN  
LA COGENERACIÓN DE LA FÁBRICA AZUCARERA  
TUMAN - CHICLAYO”

Presentado Por:

**Bach. MICHAEL SMITH CRUZADO ROJAS**

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: .....

SECRETARIO:.....

MIEMBRO:.....

ASESOR:.....

Lambayeque – Perú

Abril del 2019



# UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

TÍTULO

“IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS ADECUADOS EN LA  
COGENERACIÓN DE LA FÁBRICA AZUCARERA TUMÁN -  
CHICLAYO”

CONTENIDOS

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

AUTOR: Bach. MICHAEL SMITH CRUZADO ROJAS

---

PRESIDENTE

---

SECRETARIO

---

MIEMBRO

---

ASESOR

Lambayeque – Perú

Abril del 2019

## DEDICATORIA

A Dios por darme sabiduría y salud.

A mis padres Víctor y Emperatriz, por su  
Apoyo Incondicional, creer siempre en mí,  
y guiarme por el camino del bien.

A mis Abuelos Abelino y María junto a toda  
mi familia por sus consejos y buenos deseos

A Yvett, mi fiel compañera que con su amor  
y cariño, me motivó día a día a siempre  
dar lo mejor de mí y lograr todo lo que  
me propongo.

## AGRADECIMIENTOS

A mi prestigiosa Universidad Nacional Pedro Ruiz gallo, mi alma mater que me acogió durante los 5 años de formación profesional y personal

A mí querida facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica que a través de sus docentes me guío en esta maravillosa carrera.

Un agradecimiento especial a mí maestro Ing. Neciosup Incio Carlos Enrique que tuvo la gentileza de apoyarme en este proyecto al cual dedicó su valioso tiempo y el aporte de sus conocimientos y experiencia profesional en el campo de la ingeniería

## **Resumen**

La presente tesis “Implementación de equipos adecuados en la Cogeneración de la Fábrica Azucarera Tumán – Chiclayo”. Que debido a la falta de tecnología para una cogeneración eficiente da lugar a diseñar una propuesta de implementación de equipos modernos, de tal manera poder contribuir en la mejora de la eficiencia energética del ingenio azucarero, además de poder obtener ganancias por la venta del excedente de energía a través del SEIN en barra de 60 kV.

Se plantea la instalación de un turbogenerador de 22,3 MW sumando a la potencia instalada de 8.4 MW, pero para ello antes es necesario repotenciar el área de calderas aumentando la presión de trabajo a 30 bar de la caldera N° 6, para así poder generar un vapor con los parámetros termodinámicos necesarios para poder alimentar al turbogenerador propuesto; que son 210 ton vap/hr con un consumo de combustible de 105.3 ton bag/hr.

Dicho esto los 22,3 MW obtenidos sumado a la potencia actual instalada de 8.4 MW hacemos un total de 30,7 MW, con esto ya podemos electrificar todo el ingenio cambiando las turbinas de accionamiento mecánico (trapiche) a motores eléctricos, con la finalidad de poder controlar de forma más segura y eficiente el proceso productivo.

De esta manera se propone un sistema de control y monitoreo al sistema de cogeneración de energía a través del sistema SCADA para garantizar la óptima utilización de energía en planta y para la interconexión con la red nacional (SEIN) para poder sincronizar de manera segura.

**Palabras Claves:** Cogeneración, Turbina de Vapor, Vapor de Alta Presión, Vapor de Baja Presión, Proceso.

## **Abstract**

**The present Thesis “Implementation of Suitable Equipment in The Cogeneration of The Sugar Factory Tumán- Chiclayo”. That due to the lack of technology for an efficient cogeneration, it leads to design a proposal of implementation of modern equipment, in such a way to be able to contribute in the improvement of the energetic efficiency of the sugarcane mill, also be able to get earnings for the sale of the surplus of energy through the SEIN in bar of 60KV. It is proposed the installation of a 22.3 MW Turbogenerator added to the power of 8.4 MW but for that before it is necessary to repower the boiler area by increasing the working pressure to 30 bar of the N°6 boiler, in order to generate a steam with the thermodynamic parameters required to feed the proposed Turbogenerator, which are 210 ton steam/hr with a fuel consumption of 105.3 ton bag/hr.**

**Harvig said this, the 22.3 MW got added to the current installed power of 68.4 MW we make a total of 90.7 MW, with this we are already able to electrify all the sugarcane mill by changing the mechanical drive turbines (trapiche) to electric motors, with the purpose of being able to control more safely and efficiently the production process.**

**In this way it is proposed a system of control and monitoring to the energy cogeneration system through the SCADA system in order to guarantee the optimal use of energy in the plant and for the interconnection with the national network (SEIN) to be able to synchronize safely.**

**Key words: cogeneration, steam, turbine, high pressure steam, low pressure steam, process.**

# INDICE

<b>CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIACIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1 Realidad Problemática .....	3
1.2 Formulación del Problema. ....	8
1.3 Delimitación de la investigación.....	9
1.4 Justificación e importancia de la investigación.....	10
1.5 Limitaciones de la investigación.....	11
<b>1.5.1 Limitaciones económicas .....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.2 Limitaciones de infraestructura y seguridad de suministros. ....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.3 Limitaciones de las disposiciones regulatorios en materia de electricidad. ....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.4 Limitaciones regulatorias en Materia Ambiental. ....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.5 Limitaciones en Información.....</b>	<b>12</b>
1.6 Objetivos de la investigación.....	12
<b>1.6.1 Objetivos Generales .....</b>	<b>12</b>
<b>1.6.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
2.1 Antecedentes de estudio.....	13
2.2 Desarrollo de la temática correspondiente al tema investigado .....	13
2.3 Definición conceptual de la terminología empleada.....	14
2.3.1. Producción en el Ingenio Azucarero Tumán S.A.A.....	14
2.3.2. Descripción del procesamiento de la caña en el Ingenio Azucarero Tumán S.A.A.....	15
2.3.3. Generación de vapor en el Ingenio Azucarero Tumán S.A.A. ....	18
2.3.4. Alimentación de combustible en el Ingenio Azucarero Tumán S.A.A ...	21
2.3.5. Suministro de aire en el Ingenio Azucarero Tumán S.A.A.....	22
2.3.6. Generación de energía eléctrica en el Ingenio Azucarero Tumán S.A.A	25
2.3.7. Distribución de energía eléctrica en el Ingenio Azucarero Tumán S.A.A.	26
2.3.8. Desarrollo de la Cogeneración en el Mundo.....	28
2.3.9. Ventajas de la Cogeneración.....	30
2.3.10. Sistemas de cogeneración en los ingenios azucareros .....	32

2.3.11	Accesorios que intervienen en la Generación de Vapor .....	37
2.3.12	Accesorios que intervienen en la generación de electricidad .....	42
2.3.13	Fundamentos Técnicos de Líneas Eléctricas .....	53
2.3.14	Evaluación Económica .....	57
<b>CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....</b>		<b>63</b>
3.1	Tipo y diseño de la Investigación .....	63
3.1.1	Diagnosticar el estado actual del equipamiento en la cogeneración y cómo repercute en el proceso de producción de azúcar.....	63
3.1.2	Examinar las oportunidades de mejora en la cogeneración en la fábrica de Tumán.....	63
3.1.3	Diseñar la propuesta de implementación de equipamiento moderno para LA COGENERACION.....	63
3.2	Población y Muestra .....	64
3.3	Hipótesis.....	64
3.4	Variables – Operacionalización .....	65
3.5	Métodos y técnicas de investigación .....	65
3.6	Descripción de los instrumentos utilizados.....	66
3.6.1	Sistemas de control de la planta de Cogeneración .....	66
3.7	Análisis estadístico e interpretación de los datos.....	68
<b>CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>		<b>69</b>
4.1	Datos Informativos.....	69
4.1.1	Tema .....	69
4.1.2	Encargado de la Ejecución .....	69
4.1.3	Beneficiarios.....	69
4.1.4	Ubicación.....	69
4.1.5	Equipo técnico responsable.....	69
4.2	Antecedentes de la propuesta .....	70
4.3	Justificación .....	70
4.4	Fundamentación.....	71
4.4.1	Incremento de la presión de vapor .....	72
4.4.2	Turbogenerador de 22.3 MW .....	72
4.4.3	Interconexión a la red nacional (SEIN) .....	75
<b>CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>		<b>83</b>

<b>5.1</b>	<b>Resultados en Tablas y Gráficos .....</b>	<b>83</b>
5.1.1	Determinación de los Parámetros Termodinámicos de la Caldera Acuotubular .....	83
5.1.2	Calculo Eléctrico de la Línea de Transmisión para la Interconexión al SEIN 85	
	Datos Técnicos .....	85
	Análisis para 4 tipos de Conductores (ALLIANCE, BUTTE, CANTON Y CAIRO)	86
<b>5.2</b>	<b>Discusión de los Resultados .....</b>	<b>91</b>
5.2.1	Resultados de la Evaluación Económica.....	92
<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>97</b>
6.1	Conclusiones.....	97
6.2	Recomendaciones .....	99
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>		<b>100</b>
<b>LINKOGRAFIA .....</b>		<b>101</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>102</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS:

MWH	: Megavatios hora
VTI	: Ventilador de Tiro Inducido
TVH	: Tonelada de vapor por hora
Bar	: Unidad de presión bar
Psig	: pound square inch (libra sobre pulgada cuadrada)
Kg/cm <sup>2</sup>	: Unidad de presión (Kilogramo sobre centímetro cuadrado).
TNV/h	: Toneladas de vapor por hora
SEIN	: Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
COES	: Comité de Operaciones del Sistema Interconectado Nacional
Ton/Año	: Toneladas de bagazo por año
HRSG	: Caldera de recuperación de calor
°C	: Grados centígrados
KW	: kilowatts
Hz	: Hertz, frecuencia
RPM	: Revoluciones por minuto
HP	: Caballos Fuerza
V	: Voltios
ITC- MIE- AP01	: Instrucción Técnica complementaria relativa a Calderas, economizadores, precalentadores, sobrecalentadores y recalentadores.
PES	: Precipitador electrostático.
Fem	: Fuerza Electromotriz
MEM	: Ministerio de Energía y Minas.
SEV	: Válvula de parada de emergencia.

REE	: Rendimiento eléctrico efectivo.
ICCP	: Protocolo diseñado para transferencia de Datos entre centros de control en tiempo real.
DMG	: Es la distancia media geométrica entre fases en cm.
$\Delta V\%$	: Variación porcentual de Tensión.
P	: Potencia en Kw.
L	: Longitud del tramo de la línea en Km.
$r_1$	: Resistencia del conductor en ohm/Km.
$X_1$	: Reactancia Inductiva para sistemas.
VL	: Tensión entre fases en KV.
$\phi$	: Angulo de factor de potencia.

# CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTITIACIÓN

## 1.1 Realidad Problemática

### Situación en la Unión Europea

La cogeneración tiene una larga tradición en Europa que abarca tanto el tipo industrial como la referente a aplicaciones conocidas como district heating o energía de distrito, enfocadas al mercado de calor útil doméstico y comercial.

El grado de penetración de la cogeneración en los distintos países es muy diverso. Su aportación respecto al total de energía producida alcanza cifras elevadas en países como Dinamarca (49%), Finlandia (38%), Holanda (30%), pero también en países de economías de transición como Letonia (38%), Hungría (21%) y República Checa (17%).

En la siguiente figura se indica para distintos países de la Unión Europea la energía eléctrica generada por sistemas de cogeneración, así como la cobertura satisfecha respecto a la demanda energética total del país correspondiente.

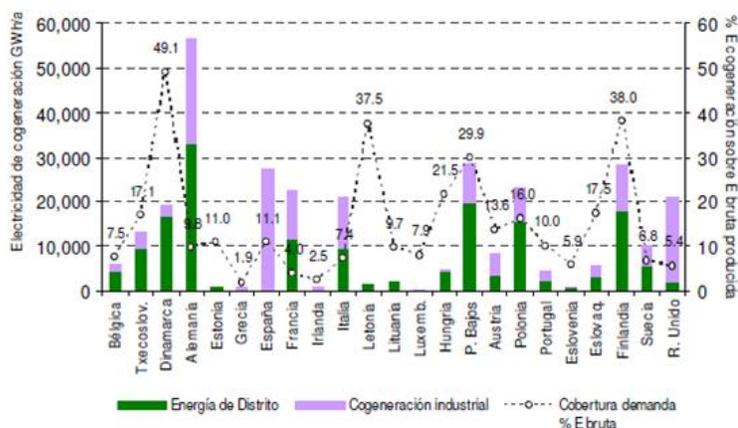


Figura N° 01. Cogeneración en la U. Europea.

Fuente: ENERGIZA

## **Situación en Nuestro país**

A raíz de la crisis del petróleo de los 70's, en Estados Unidos y en diferentes países desarrollados se implementaron políticas energéticas que fomentaron la implementación de las instalaciones de cogeneración. En Perú se dispone de un marco legal para promover la cogeneración, se trata del Decreto DS N° 064-2005-EM, posteriormente sustituido por el Decreto DS N° 037-2006-EM.

- i) Disminuiría el consumo de recursos fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero por encima del 20%.
- ii) Disminuiría las importaciones de combustible fósil.
- iii) Impulsaría el mercado de servicios de ingeniería / tecnología y ventas de equipos industriales.
- iv) Contribuiría a allanar la curva de demanda eléctrica del sector industrial.

Para promover el uso de RER, en mayo de 2008, se promulgó la “Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con Energías Renovables” (Ley 1.002) y su correspondiente Reglamento a través del Decreto Supremo N° 050-2008-EM de octubre de 2008.

Los principales incentivos a la inversión que establecen la Ley y el Reglamento son:

- Porcentaje objetivo del consumo nacional de energía eléctrica, fijado cada 5 años, a ser cubierto con generación eléctrica a base de RER, no

incluyéndose a las centrales hidroeléctricas. Para el primer quinquenio dicho porcentaje es del 5%.

- A través de subastas de energía a ser cubierta con RER, se le garantiza al inversionista adjudicatario un precio firme (ofertado en la subasta) por la energía que inyecta al sistema durante el periodo de contrato de suministro de hasta por 20 años. Para la primera subasta el cupo total de capacidad instalada es de 500 MW.
- Prioridad en el despacho de carga y acceso a redes de transmisión y distribución.

Estos incentivos son aplicables a recursos renovables tales como Biomasa, Eólico, Solar, Geotérmico, Mareomotriz e Hidroeléctrica hasta 20 MW.

La cogeneración en Perú se inició en el año 2003 a través de un proyecto de 10 MW destinado a abastecer de calor y electricidad a la Refinería La Pampilla, principal refinería del país y propiedad de Repsol YPF. Este proyecto se abastecía en primera instancia de desechos de la producción de caña de azúcar, pasando posteriormente a operar con gas natural.

Esta situación de escaso desarrollo de la cogeneración fue detectada por el gobierno peruano, quien, reconociendo los amplios beneficios de esta tecnología, se propuso promover su penetración como alternativa de generación.

En diciembre de 2005, se publicó el Reglamento de Cogeneración. Este documento define los rendimientos mínimos por tipo de tecnología para que una

central de cogeneración sea calificada como tal, asegura el libre acceso a las redes de transmisión y distribución y establece, además que el precio del gas natural aplicable a estas centrales debe de ser idéntico al ofrecido a las centrales convencionales que utilizan dicho combustible.

Esta última condición, de suministro asegurado y a bajo costo de gas natural, representa la principal estrategia del estado peruano para promover la penetración de la cogeneración como tecnología de generación.

Desde el comienzo del siglo XIX, LA Industria Azucarera del Perú, era una de las más importantes y productivas del País. Se introdujeron plantas procesadoras de caña de azúcar con tecnología de avanzada, como por ejemplo la azucarera de Casa Grande con tecnología Alemana, Paramonga y Cartavio con tecnología Americana y en el Norte también con tecnología Inglesa y Americana. En estas plantas se extraía el jugo de la caña de azúcar con trapiches generalmente accionados con turbinas de vapor, cuyo vapor se genera en calderas de vapor de Alta Presión y que también se utiliza para mover los Turbogeneradores de Vapor de la Planta Eléctrica y así también para mover las Turbinas de Vapor que mueven los auxiliares de las mismas calderas.

En la Industria Azucarera del Perú, el Ingenio Azucarero Tumán actualmente trabaja con 3 calderas de las 5 existentes, generando vapor a 20 Bar (300 psig, 20 Kg/cm<sup>2</sup>) de presión y con una temperatura de sobrecalentamiento de 310°C, este vapor es alimentado a un colector de alta presión y de aquí a la planta de fuerza a los Turbogeneradores 1, 2 y 3 cuya marca es BROWN BOVERI

(SUIZOS) con una potencia de 8.4 MW, así mismo desde aquí se alimenta el vapor de accionamiento de las tres Turbinas de vapor de accionamiento de los 5 molinos del Trapiche que muelen la caña de azúcar, así mismo de este colector se alimenta el vapor para el accionamiento de la turbina del VTI de la caldera N°6 y de las bombas auxiliares de agua de alimentación a las calderas de vapor.

La producción de vapor está entre los 100-120 TVH, actualmente este vapor se usa para generar aproximadamente 5 MW que se utilizan para dar energía eléctrica a todos los motores eléctricos que hay en la Fábrica y para los motores eléctricos de accionamiento de los pozos de agua de regadío en el campo, y algunos de la población.

Es en estas condiciones que se genera el vapor de alta presión para mover las Turbinas antes mencionadas, unas para generar energía eléctrica y otras para generar energía mecánica de accionamiento de los molinos del Trapiche y de las bombas de agua de alimentación a las calderas así como también para el accionamiento del VTI de la caldera N°6, el vapor al expandirse en los equipos antes mencionados saldrán por el escape de los mismos a baja presión de 2 Bar (30 psig, 2 kg/cm<sup>2</sup>) que constituye el vapor de escape de baja presión que se utiliza en el proceso de la fabricación de azúcar.

Este es el proceso que generalmente se realiza en los doce Ingenios Azucareros del País, pero últimamente el Ingenio de Paramonga y el Ingenio de San Jacinto en Chimbote han implementado Turbinas de Vapor de mayor potencia de hasta 20 MW con el propósito de aumentar la cogeneración y

aumentar la molienda, con el aumento de la cogeneración, están vendiendo energía al sistema.

Se debe hacer hincapié que este proceso de cogeneración como se ha mencionado se está realizando en Países como Brasil, Argentina, Chile, Ecuador, México, Nicaragua etc.

## **1.2 Formulación del Problema.**

Como hemos mencionado en el acápite anterior, en el proceso de la elaboración del azúcar en un Ingenio Azucarero desde sus inicios se ha practicado la cogeneración, ya que se producía vapor de alta presión para generar energía eléctrica y simultáneamente se generaba vapor de baja presión para el proceso de la fabricación del azúcar.

Hasta hace diez años atrás no se usaban los motores eléctricos para el accionamiento de los molinos del Trapiche, actualmente para una producción más eficiente y mejor controlado es una necesidad. El motor eléctrico al accionarlo con un variador de frecuencia, presenta muchas ventajas respecto a la Turbina de Vapor.

En realidad, la Industria Azucarera con el proceso de cogeneración mejorado evolucionará, ya que, de producir solo azúcar y alcohol, también producirá electricidad para vender.

Por ello hay que preguntarse:

¿En qué medida la adecuada implementación con equipos en la cogeneración, contribuirá a mejorar la eficiencia energética de la fábrica azucarera Tumán?

### **1.3 Delimitación de la investigación**

La energía cumple una función muy importante en la industria, la falta de tecnologías para su generación dan como resultado un mal aprovechamiento del combustible y esto nos conduce a plantear una adecuada implementación de equipos, de tal modo que nos permita obtener una mayor eficiencia energética.

El ingenio azucarero Tumán S.A.A ubicada en el departamento de Lambayeque, provincia Chiclayo, distrito Tumán. Tiene como actividad económica el cultivo y proceso de la caña de azúcar y sus derivados.

Dentro del proceso productivo cuenta con 5 unidades de generación de vapor, de marca Babcock & Wilcox (caldera N° 2, 5 y 6) y Combustion & Engineering (Caldera N° 1 y 4), Estas calderas generalmente utilizan bagazo de caña como combustible y como combustible complementario petróleo Industrial 500 de Alta Viscosidad. La capacidad instalada de las calderas es de 220 TNV/h, viéndose menguada por la disposición generalmente de reserva de dos unidades de vapor, la caldera N°6 proporciona 100 Tn de Vap/h a una presión de 20 bar y temperatura de 310°C y con una extracción de 30 TNV/h para el proceso productivo. Alcanzando una potencia instalada de 8.4 MW.

#### **1.4 Justificación e importancia de la investigación**

Garantizar la generación eficiente de energía del ingenio azucarero Tumán S.A.A. a través de una adecuada implementación de equipos modernos y automatizados en la cogeneración, aprovechando el máximo potencial de la materia prima. Asegurando un excedente de energía que se podría inyectar al SEIN obteniendo un nuevo ingreso económico con la venta de energía. Lo que nos permitirá obtener una seguridad energética y así asegurar el crecimiento del Ingenio.

Con la instalación de un precipitador electrostático garantizaríamos una energía limpia. Repercutiendo de una manera positiva en los alrededores del ingenio. Pero existe un estudio por implementar en la caldera N°6 realizado por el Ing. Enrique Neciosup Incio asesor de esta tesis para realizar la limpieza húmeda de las partículas micro y macro partículas que arrastran los gases de la combustión en la chimenea de la caldera y así obtener gases limpios que no contaminen el ambiente.

Este proyecto resulta muy importante considerando que al concluirlo se hará llegar a la empresa una propuesta de mejora de la calidad de los servicios, lo que redundará en beneficio de los clientes, de los trabajadores y de los propietarios.

## **1.5 Limitaciones de la investigación**

Dentro de las limitaciones o barreras que inciden en el desarrollo o implementación del proyecto de cogeneración en el sector Industrial son principalmente económicos, de infraestructura, regulatorias y de información.

Entre las principales limitaciones podemos identificar las siguientes:

- i) Económicas
- ii) Infraestructura y seguridad de Suministro.
- iii) Regulatorias en materia de electricidad.
- iv) Regulatoria en materia ambiental.
- v) Información.

### **1.5.1 Limitaciones económicas**

Alto nivel de inversión

### **1.5.2 Limitaciones de infraestructura y seguridad de suministros.**

Falta de infraestructura de red eléctrica para el suministro requerido y servicios de transmisión.

### **1.5.3 Limitaciones de las disposiciones regulatorios en materia de electricidad.**

Aquí hay que tener en cuenta las limitaciones regulatorias y normativas, de las disposiciones regulatorias sobre la materia y que son elaboradas por la comisión Reguladora de Energía.

### **1.5.4 Limitaciones regulatorias en Materia Ambiental.**

En materia de Regulación ambiental los proyectos de cogeneración o autoabastecimiento se centran sobre condicionados a cumplir toda la normatividad vigente.

#### **1.5.5 Limitaciones en Información.**

Poca información en casos exitosos de cogeneración como aquellos con altos índices de disponibilidad habilidad y eficiencia térmica global.

### **1.6 Objetivos de la investigación**

#### **1.6.1 Objetivos Generales**

- Proponer un Programa de equipamiento en la cogeneración que mejore la eficiencia energética de la fábrica azucarera Tumán.

#### **1.6.2 Objetivos Específicos**

- Diagnosticar el estado actual del equipamiento en la cogeneración y cómo repercute en el proceso de producción de azúcar
- Examinar las oportunidades de mejora en la cogeneración en la fábrica de Tumán.
- Diseñar la propuesta de implementación de equipamiento moderno para LA COGENERACION.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de estudio

- Según Rodríguez, (2004) sobre "Incremento de Beneficios En Un Ingenio Azucarero Mediante el Mejoramiento del uso del Bagazo de Caña de Azúcar", en su tesis, demostró que el bagazo desperdiciado en un ingenio convencional (alrededor de 30 000 Ton/Año) se puede utilizar mediante la optimización de las condiciones de operación de los equipos de procesos, así con la implantación de un sistema de generación de energía para venta a la red, el proceso térmico puede aumentar su eficiencia de generación térmica- eléctrica en un 60%.

- Según Lozano y Mariño, (2008) sobre "Integración Térmica de Procesos, Aplicación en Ingenios Azucareros" – Universidad de Zaragoza, en una Cátedra de "Nuevas Tecnologías Energéticas". Establece que el conjunto de equipos que colaborando funcionalmente satisfarán de modo eficiente las demandas de servicios energéticos. Así en equipos convencionales (Calderas, Intercambiadores de Calor, Turbinas, Bombas, etc) se estará aprovechando al máximo el potencial energético de los recursos obtenidos.

### 2.2 Desarrollo de la temática correspondiente al tema investigado

El tema de tesis desarrollado tiene como objetivo diseñar un sistema de cogeneración para satisfacer los requerimientos de electricidad. También de

esta manera poder reemplazar las turbinas de vapor de accionamiento de los molinos del trapiche, del Ventilador de Tiro Inducido de la caldera N°6, las bombas de agua de alimentación de las calderas de vapor, etc. Así como también producir energía eléctrica para vender al sistema.

Los sistemas de cogeneración hacen posible la obtención de rendimientos energéticos mayores que los conseguidos por producciones separadas de electricidad y calor, llegando en algunos casos al 80%, y tienen un menor impacto medioambiental que los procesos convencionales debido al alto rendimiento del proceso.

La evaluación de sistemas de cogeneración es una temática que cuenta con una infinidad de estudios realizados y en su gran mayoría se concentran sobre la parte económica. Esto no constituye un hecho casuístico ya que estas instalaciones en su mayoría, operan a partir de combustibles fósiles los cuales debido al agotamiento de las reservas de fácil y de mediano acceso, se cotizan cada vez a un mayor precio.

## **2.3 Definición conceptual de la terminología empleada**

### **2.3.1. Producción en el Ingenio Azucarero Tumán S.A.A.**

Es una empresa autogestionaria dedicada a la producción de azúcar, cuenta con una capacidad de procesamiento de 4000 TCD, teniendo como subproducto la melaza que se emplea para la fabricación de alcohol, la cachaza que se utiliza como abono en los campos y el bagazo que sirve

como combustible para las calderas de la fábrica. A continuación presentamos un cuadro de data histórica de producción en el ingenio.

<b>AÑO</b>	<b>CAÑA MOLIDA (Ton)</b>	<b>AZUCAR RUBIA (Ton)</b>	<b>AZUCAR REFINADA (Ton)</b>	<b>EXPORTACION DE AZUCAR RUBIA (Ton)</b>	<b>MELAZA (Ton)</b>
1995	1068779.08	40015.50	52388.56	24986.69	48699.24
1996	1101673.09	53690.65	34600.30	28206.36	47356.50
1997	1191060.80	49770.15	62364.30	8943.74	59037.00
1998	904781.08	39704.17	15283.35	13543.75	46245.50
1999	1080822.13	70300.45	28619.05	7268.25	46761.00
2000	1028317.11	76172.76	28004.78	3722.21	39583.50
2001	947272.64	70180.73	20473.07	6846.94	36348.00
2002	928346.16	69124.59	19243.13	64762.23	35124.00
2003	914267.13	94727.64	19146.25	64127.47	34942.40
2004	921436.57	68579.47	20436.27	65743.14	35134.00
2005	926535.13	76172.76	20473.07	7268.25	39583.50
2006	947272.64	94727.64	19243.13	6846.94	46761.00

Tabla N°01. Producción

Fuente: laboratorio Fábrica Tumán.

### **2.3.2. Descripción del procesamiento de la caña en el Ingenio Azucarero**

#### **Tumán S.A.A**

Este proceso consiste en transformar el jugo de la caña en azúcar. La caña de azúcar contiene sacarosa, fibra, sales, agua y otros elementos que están disueltos. También contiene tierra, arena y otros materiales. Para obtener el azúcar se tiene que combinar ciertas sustancias químicas con el calor, en una serie de depósitos y maquinas que se encuentran instaladas en la

fábrica, desde que llega la caña a la fábrica y sale convertida en azúcar;

pasa por las siguientes etapas:

- a) Pesado de la caña (Balanza)
- b) Descargado de la caña ( Grúa Hilo)
- c) Preparación y lavado de caña (Aire y Agua)
- d) Molienda de la Caña – Trapiche (Jugo y bagazo)
- e) Balanza de Jugo (Jugo mesclado)
- f) Calentadores de Jugo – Cuadros ( Encalado – Calentado)
- g) Clarificadores – Tanques Dor (Jugo Clarificado)
- h) Filtración – Filtros Oliver (Cachaza)
- i) Evaporadores (Jarabe)
- j) Cristalización – Vacum pan (Grano de azúcar)
- k) Cristalizadores – Lanchas (crecimiento de Azúcar)
- l) Centrifugación (separación de Azúcar y miel)
- m)Refinería
- n) Envase y almacenamiento de azúcar

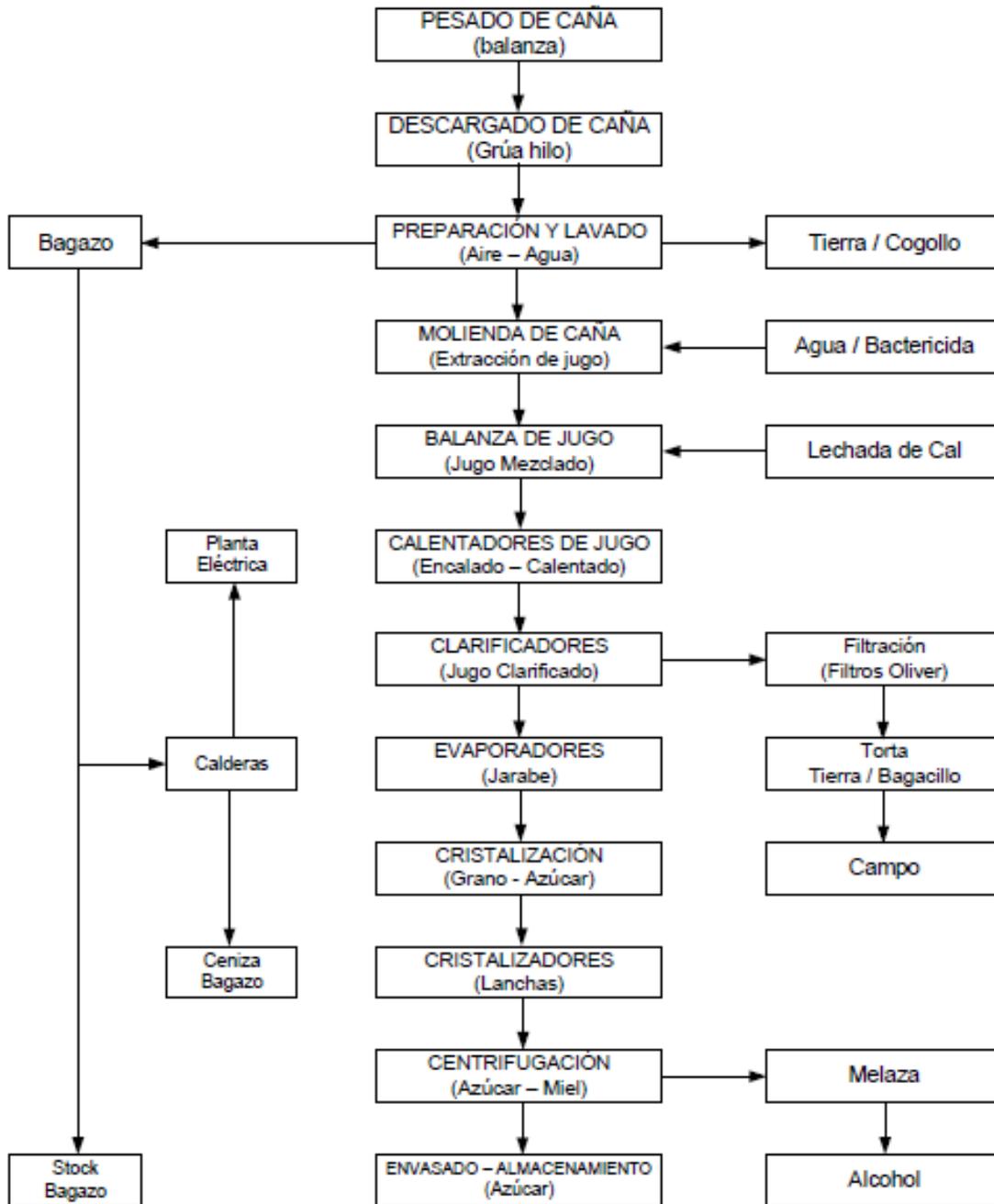


Figura N° 02. Diagrama del Proceso de la Elaboración de Azúcar  
Fuente: Ingenio Azucarero Tumán.

### **2.3.3. Generación de vapor en el Ingenio Azucarero Tumán S.A.A.**

En Agroindustrial Tumán S.A.A el vapor producido por las calderas, es usado para el manejo industrial azucarero, debido a sus múltiples aplicaciones, así como producir fuerza, procesos de calentamiento, cocinado, limpieza, etc. Lo cual hace que sea casi indispensable en cualquier sección de la fábrica.

En el ingenio, se produce vapor sobrecalentado de 22.5 a 21 Kg/cm<sup>2</sup> mediante expansión en turbinas, válvulas reductoras y proceso en elaboración – fábrica se obtiene hasta 5.7; 2.1; y 0.5Kg/cm<sup>2</sup>.

La caldera N°6 produce vapor sobrecalentado a una presión de 22.5 Kg/cm<sup>2</sup> y 310 °C; el cual después de ser recepcionado en un colector (colector de 22.5 Kg/cm<sup>2</sup>) es distribuido en:

- a) Turbinas, Bombas, Agua de almacenamiento.
- b) Turbinas, Ventilador de Tiro Inducido (Caldera N°6)
- c) Turbinas, Ventilador de Aire Secundario (Caldera N°6)
- d) Desobrecalentador (disminuye de 22.5 a 21 Kg/cm<sup>2</sup>, conduciéndolo a la planta Eléctrica)

Las calderas N° 1, 2, 4 y 5 también producen vapor sobrecalentado a una presión de 21 Kg/cm<sup>2</sup> y 310°C que es llevado a un colector (21 Kg/cm<sup>2</sup>) distribuyéndolo en:

- a) Turbogeneradores, Planta Eléctrica, Válvula reductora de 21 a 5.7 Kg/cm<sup>2</sup> para centrifugas continuas y servicio Fabrica – Refinería.
- b) Turbinas de Trapiche.
- c) Turbinas de Bombas de Agua de Alimentación y Equipos de Bombas y Calderos de Petróleo.
- d) Eyectores de condensadores de algunos tachos.
- e) El vapor de 2.10 Kg/cm<sup>2</sup> y 126°C es vapor de escape, producto de la expansión de las turbinas de contrapresión, el cual es usado por el proceso de Elaboración de Azúcar.
- f) Evaporación de jugo clarificado aplicado en los Pre-evaporadores.
- g) Previo calentamiento del jugo en los Pre-calentadores de jugo clarificado.
- h) A través de la válvula reductora de vapor de 2.10 Kg/cm<sup>2</sup> que cubre la salida de los pre-evaporadores.
- i) Secador de azúcar refinada.
- j) El vapor de 1.05 Kg/cm<sup>2</sup> en la salida de Pre-evaporadores y pre-calentadores, es distribuido en:
- Evaporadores, Baterías A y B.
  - Cristalización de tachos de las masas de 1era, 2da, 3era y de refinería.
  - Calentadores de jugo encalado antes del proceso de elaboración.
  - Calentadores de licor. Desoxigenación y eliminación de otros gases (Desaireador).

k) El vapor de 0.5 Kg/cm<sup>2</sup> es vapor en la salida de los calentadores, va a la cisterna de agua condensada para calentar el agua de alimentación a calderas y a los evaporadores de Doble Efecto en Refinería.

Caldera N° 6 (Esta se tomará como modelo para todas las calderas del ingenio, asumiendo que todos tienen el mismo principio de funcionamiento

Año de operación	1989
Superficie de Calefacción	2043.89 m <sup>2</sup>
Combustible utilizado	bagazo/Petróleo
Temperatura agua de alimentación	98°C
Condiciones del vapor – trabajo	21 Kg/cm <sup>2</sup> (310°C)
Condiciones del vapor – diseño	35 Kg/cm <sup>2</sup> (370°C)
Capacidad de generación – trabajo	70 ton/hr
Presión de trabajo	450 Psi
Temperatura de Vapor Sobrecalentado	700°F
N° de Domos	2 superior
	1 inferior
Válvulas de seguridad	01 (sobrecalentado)
	01 (Domo superior)
	01 (Domo inferior)
	05 (otras partes de caldero)
Otras Válvulas	Válvulas de salida del Vapor
	Válvulas de purga
Temperatura de entrada de Petróleo	120°C

Tabla N° 02. Datos Técnicos de la Caldera  
Fuente: Ingenio Azucarero Tumán

Energía Térmica	Capacidad
Casa de calderas	220 ton Vap/h
Caldera N° 1	20 ton Vap/h
Caldera N° 2	40 ton Vap/h
Caldera N° 4	20 ton Vap/h
Caldera N° 5	40 ton Vap/h
Caldera N° 6	100 ton Vap/h

Tabla N° 03. Capacidad de Vapor  
Fuente: ingenio Azucarero Tumán

#### **2.3.4. Alimentación de combustible en el Ingenio Azucarero Tumán S.A.A**

La Empresa Agroindustrial Tumán utiliza el bagazo de la caña como Combustible, además cuando escasea este, utiliza petróleo como combustible de emergencia.

El bagazo se toma directamente del trapiche (cuando hay molienda) o de la bagacera.

El petróleo utilizado es el Petróleo Industrial 500, el cual es previamente filtrado y calentado a una temperatura de 120°C antes de ser enviado a los

quemadores, con la finalidad de disminuir su viscosidad y permitir una combustión eficiente.

### **2.3.5. Suministro de aire en el Ingenio Azucarero Tumán S.A.A**

#### **a) Tiro Forzado.**

El aire que se necesita para la combustión del bagazo es tomado de la planta de fuerza. Este aire caliente de la planta de fuerza es impulsado por medio de ventilador de tiro forzado a través de una bóveda por debajo de las parrillas del hogar. Antes de su ingreso al hogar este aire aprovecha el calor de los gases de escape de la combustión al pasar por el calentador de aire.

El aire que entra por debajo de la parrilla tiene dos funciones:

- i) La primera, ya antes mencionada, de permitir la combustión.
- ii) La segunda, de mantener en suspensión el bagazo para un mejor quemado de éste.

Accionamiento con Motor: ASEA 3

Potencia : 200 HP 150 KW

Tensión : 2300 voltios

Intensidad : 51 Amperios

Frecuencia : 60 Hz

Velocidad : 890 RPM

#### **b) Tiro Secundario.**

Además del ventilador de tiro forzado la caldera cuenta con un ventilador auxiliar de tiro secundario, el cual toma aire del exterior (aire frío) que contribuye a la mejora de la combustión. Este aire es distribuido en la caldera de la siguiente manera:

- i) Parte es conducido hacia los recuperadores de bagazo. Este devuelve el bagazo no totalmente quemado a la cámara de combustión.
- ii) Una porción es llevada a la parte posterior de la cámara de combustión. Este aire ingresa a la cámara por medio de tuberías de pequeño diámetro con el fin de crear turbulencia dentro de la cámara y retroalimenta el bagazo que es arrastrado y que se recupera alimentándolo nuevamente al hogar para terminar de combustionar.
- iii) El resto del aire es llevado hacia la parte frontal de la cámara de combustión. Este aire ingresa a la cámara por tres puntos:
  - A través de tuberías (como en la parte posterior) para crear turbulencia en la cámara.
  - Mediante ductos (en cada alimentador de bagazo) para evitar que el bagazo se acumule en la parte del alimentador.
  - Mediante ductos por debajo de cada alimentador con la finalidad de esparcir el bagazo en la cámara y así mejorar la combustión. Estos ductos poseen un alimentador que está girando constantemente (mediante motor a bajas RPM), abriendo y cerrando la entrada del aire haciendo que su entrada sea pulsante.

Accionamiento con Turbina de Vapor

Potencia: 16 Kg / cm<sup>2</sup> (238 a 240 Psi)

RPM : 1700

### **c) Tiro Inducido.**

Para mantener la combustión, además de suministrar cierta cantidad de aire, es necesario remover los productos resultantes de dicha combustión que se realiza mediante el ventilador de tiro Inducido.

Los gases de la combustión, en su recorrido atraviesan toda la superficie de calefacción de la caldera en forma sinuosa y en su recorrido son desviados por los baffles que son paredes de ladrillos refractarios, ceden el calor al agua de la caldera, vaporizándola. Luego el calor de estos gases residuales es aprovechado para calentar el aire que va a ser empleado en la combustión. Los gases resultantes son expulsados hacia el exterior por medio de una chimenea.

Accionamiento con Turbina de Vapor

Potencia : 1600 HP  
RPM : 1760  
Ventilador : 1760 RPM

### **2.3.6. Generación de energía eléctrica en el Ingenio Azucarero Tumán**

#### **S.A.A**

El ingenio Azucarero Tumán, tiene que generar su propia electricidad en su planta Eléctrica por medio de la expansión del vapor sobrecalentado, que a su vez es producido principalmente utilizando como combustible el bagazo, en las calderas. Para ello cuenta con tres turbogeneradores marca BROWN BOVERI, generando a 2300 V a 60 Hz de frecuencia. Las dos unidades más antiguas que fueron instaladas en 1952 y 1955 son de 2200Kw nominales de potencia. Son unidas multietapa de contrapresión de 2 Kg/cm<sup>2</sup>. La unidad N°3 es de 4000 KW nominales de potencia. Fue instalada en 1971 y es una unidad multietapa a 2 Kg/cm<sup>2</sup> de contrapresión. Su consumo específico es variable de acuerdo con la porción de vapor vivo que se envía al condensador. La unidad 3 es de condensación y extracción regulada. Los tres turbogeneradores están trabajando a condiciones actuales de vapor vivo (19 Kg/cm<sup>2</sup> y 310 °C a la entrada de las turbinas, pero están capacitadas para operar con 30 Kg/cm<sup>2</sup> de presión) El agua para condensación de vapor de escape del turbogenerador 3 es recirculada por medio de una torre de enfriamiento marca BISCHOFF, de 412m<sup>3</sup>/h. Las unidades, así como el condensador y los tableros de distribución y control están albergados en un edificio propio con piso embalsado y buena iluminación e higiene, manteniéndose cerrado para evitar la entrada de polvo y contaminación, llamada Planta Eléctrica. La planta eléctrica cuenta con una capacidad instalada de 8.4 MW ó 8400 KW, con una carga máxima de 7500 KW; sin

embargo, actualmente su capacidad de trabajo promedio es aproximadamente de 5000 KW.

Energía Eléctrica	8400 KW
Turbogenerador N° 1	2200 KW
Turbogenerador N° 2	2200 KW
Turbogenerador N° 3	4000 KW
Grupo Electrónico	220 KW

Tabla N° 04. Capacidad de Potencia Eléctrica  
Fuente: ingenio Azucarero Tumán

### **2.3.7 Distribución de energía eléctrica en el Ingenio Azucarero Tumán**

#### **S.A.A.**

En sus inicios la distribución de Energía Eléctrica estaba dirigida en parte al Ingenio y a los centros poblados anexos (Calupe, La Granja, Conchucos, El Milagro); ya que el servicio de Energía Eléctrica de la misma población de Tumán había sido tomado por Electro norte S.A. Actualmente la energía eléctrica que se produce es para consumo propio. La distribución de la Energía Eléctrica se realiza en media y baja tensión.

### **a) Distribución en media tensión**

El ingenio azucarero Tumán S.A distribuye en media tensión desde la generación a 2300 V.

- Calderas: Calderas N° 1, 2, 4, y 6 –Servicios Generales.
- Torre de Mando: Conductores de Caña, Machetes, Conductores de Bagazo, Soldadores, Alimentadores de Bagazo, etc.
- Desfibrador de caña Shredder: Mandos.
- Enfriadores: Mandos y Motores.
- Transformadores de Fábrica N°1 y N°2.
- Alumbrado de Fábrica.

### **b) Distribución en baja tensión**

El ingenio azucarero Tumán S.A, distribuye en baja tensión a través de sus Transformadores de fábrica N° 1 y N° 2, así:

- Talleres: maquinas taller, alumbrado, soldadoras.
- Centrífugas de Miel A, B y C: centrifugas automáticas y semiautomáticas, ventiladores, elevadores, gusanos y máquinas de coser sacos, mandos, electrobombas, etc.
- Refinería: tableros generales y vibradores, centrifugas, tanques Melter Lancha y Mingler, bomba Danco Carbón.
- Fábrica: comprende:
- Fábrica II: Soldadoras, electrobombas, jugo encalado, Oliver.
- Fábrica III: Electrobombas vacío, soldadoras, electrobombas (para columna de agua, jarabe, condensado), compresora fábrica.

- Fábrica IV: Electrobombas (jugo clarificado, agua a la torre, mezcla, soda, agua caliente a tanque rojo, condensado, agua para lavado de Fábrica, etc.), transportar la cachaza, ventilador canal de cables, soldadora, alambique, ventilador de alcohol, electrobombas, soldadoras. Cuarto de cal. Transportador de cal, zaranda, motor de transmisión de cal, mezcladores.

### **2.3.8 Desarrollo de la Cogeneración en el Mundo**

Esta situación que se vive en Perú no es ajena a la tendencia mundial de utilizar cada vez más recursos renovables. La trascendencia de la cogeneración de energía en el mundo y los proyectos para llevarla a cabo, han experimentado un importante desarrollo, y dentro de las causas de este cambio, se pueden considerar, el alza en los precios de los combustibles, el avance de la tecnología en las energías renovables y las políticas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que están plasmadas en las metas de los diferentes países.

La participación actual de la generación en Centroamérica (Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Panamá y Nicaragua), está compuesta por un 42% de energía hidráulica, 37% de generación térmica con base en diésel, 7% de generación térmica con base en carbón, 5% de generación geotérmica, 3% de eólica y 6% de cogeneración.

De otro lado, México tiene un gran potencial de biomasa de residuos agrícolas, y con el uso de nuevas tecnologías para la cogeneración de energía eléctrica, se estima que para el año 2025 los 57 ingenios del país

alcancen un potencial técnico máximo de cogeneración de 1.025 MW y neto de 979 MW, de acuerdo con estimaciones realizadas por la Secretaría de Energía de México – SENER – con base en el crecimiento anual de cogeneración a partir de bagazo que ha experimentado la industria en los últimos 5 años.

En el caso de Brasil, los planes de expansión de cogeneración de la mano con la expansión del sector sucro-alcoholero, indican que pasarán de tener una capacidad instalada de 10 GW en 2010 a más de 30 GW en 2020. Esto implica que la participación de la cogeneración será de un 18% de la matriz energética brasilera en ese año.

En la Unión Europea, actualmente el 11% de la generación eléctrica es fruto de la cogeneración. Sin embargo, existen grandes diferencias entre los estados miembros, las cuales varían entre 0% y 42,8%. De acuerdo con los datos de Eurostat, no hay cogeneración en Malta, muy poca en Chipre (0,3%) y en Grecia (1,6%). Dinamarca tiene la mayor participación dentro de su generación, alcanzando el 42,8%, seguido de Letonia (40,9%). Existe un gran potencial en los nuevos estados miembros, particularmente por la necesidad de renovación de los esquemas de calefacción, para actualizarlos a sistemas modernos que además de distribuir calor, puedan distribuir energía eléctrica.

En China e India, la cogeneración participa con cerca del 13% y 5% de la generación, respectivamente. La Agencia Internacional de Energía - IEA - proyecta que para 2030, la participación de la cogeneración dentro de la

generación se incrementará a 28% y 26% en China e India, respectivamente, siempre y cuando se cuente con políticas e incentivos adecuados. En China el potencial de crecimiento está determinado por su amplia base industrial. En EE.UU. la cogeneración tiene una larga historia en el sector industrial. Este sector es responsable de aproximadamente el 25% del total de consumo de energía del país. Actualmente la cogeneración aporta cerca del 12% de la generación y representa cerca del 9% (85 GW en 3.300 lugares) de la capacidad de generación total. La capacidad de cogeneración está concentrada principalmente en los estados que tienen gran consumo industrial, como por ejemplo industria petroquímica y refinerías de petróleo. Solo Texas contribuye con el 20% de la capacidad instalada de cogeneración y los 5 mayores estados cogeneradores aportan la mitad de la capacidad instalada.

### **2.3.9 Ventajas de la Cogeneración**

- **Combustible renovable:** la cogeneración en el sector sucro-energético utiliza el bagazo como combustible para la generación de energía térmica. Esto significa que no se están utilizando combustibles fósiles para la obtención de la misma sino biomasa, la cual se puede sembrar y cosechar las veces que sean necesarias, permitiendo así tener combustible disponible en el largo plazo. Existen fincas que han sembrado caña de azúcar por más de 100 años y registran óptimos rendimientos.

- **Reducción de emisiones de gases efecto invernadero:** al ser el bagazo un combustible de biomasa, no se utilizan combustibles fósiles para la cogeneración, lo cual reduce la emisión de gases efecto invernadero, ayudando así a la mitigación del calentamiento global.
- **Generación distribuida:** la cogeneración es una alternativa para estimular el desarrollo de generación distribuida, es decir que no haya concentración en una región generadora. Esto implica que al distribuir la generación en la geografía peruana, se reducen las pérdidas del sistema por concepto de transporte y hace menos vulnerable al sistema frente a eventuales cortes de transmisión por derrumbes o voladuras de torres.
- **Firmeza al sistema:** además de la menor concentración regional en la generación, la matriz Peruana depende en cerca de 57.77% de la generación hidráulica. Esta depende a su vez de las precipitaciones y caudales de los ríos que alimentan los embalses. Durante el verano, la disponibilidad de agua se reduce. En el caso del sector sucro-energético, en verano es cuando el campo tiene una mayor aptitud para la cosecha, por lo que se tiene un mayor abastecimiento de caña en los ingenios y por lo tanto hay abundancia de combustible para la cogeneración.
- **Diversificación de la matriz energética:** Las diferentes alternativas de cogeneración, bien sea con biomasa o con otros energéticos, estimulan la utilización de diferentes alternativas energéticas, lo cual diversifica la utilización de combustibles.

- **Eficiencia energética:** El mayor aprovechamiento del combustible mediante la implementación de tecnologías más eficientes implica un uso racional de la energía y se genera un claro estímulo a la implementación de acciones de incremento de la eficiencia energética para generar excedentes comercializables en la red de interconexión nacional.

### **2.3.10 Sistemas de cogeneración en los ingenios azucareros**

#### **2.3.10.1 Cogeneración con turbina de vapor a contrapresión**

Es el sistema de cogeneración tradicional de un ingenio azucarero, este sistema de cogeneración tiene como principal característica la limitación de producción de energía eléctrica debido a que el vapor de extracción es regulado de acuerdo a la necesidad de energía térmica para proceso. Con este sistema es difícil que la potencia generada por la turbina sea igual a la potencia nominal.

#### **2.3.10.2 Cogeneración con turbina de vapor a condensación.**

En este sistema de cogeneración el suministro de energía térmica para proceso se realiza a través de turbinas de extracción, con la cual se genera parte de la energía eléctrica. La generación de energía eléctrica para el abastecimiento total al ingenio y la venta de excedentes al sistema interconectado nacional se realizan mediante turbinas a condensación, con la que se logra obtener mayor aprovechamiento energético del vapor.

Es común ver en los ingenios azucareros el uso de turbinas de extracción condensación para cogenerar, con esta tecnología se logra regular la cantidad de vapor de extracción para proceso, de acuerdo a la necesidad de energía térmica.

#### **2.3.10.3 Cogeneración con gasificación de bagazo y ciclo combinado**

La gasificación de bagazo con Gas de Síntesis hace posible el aprovechamiento de nuevas tecnologías en el sector agroindustrial. Un ciclo combinado hace referencia a un sistema que trabaja en conjunto con una turbina de gas y una de vapor. Su modo de operación consiste en que el HRSG de la cogeneración con turbina de gas, cumpla al mismo tiempo la función de la caldera en un ciclo de vapor, es decir, que la salida de vapor de dicho intercambiador de calor ingresa a las turbinas de condensado y contrapresión. La generación de energía eléctrica es mucho mayor, ya que cada turbina aporta una parte. También hay que indicar que este sistema combinado es posible, ya que los ciclos simples trabajan en distintos rangos de temperatura y permiten operar al generador de vapor.

#### **2.3.10.4 Cogeneración en ciclo combinado con motor alternativo de gas o fuel.**

Utilizan gas, gasóleo o fuel-oil como combustible. Son muy eficientes eléctricamente, pero son poco eficientes térmicamente.

El sistema de recuperación térmica se diseña en función de los requisitos de la industria y en general se basan en la producción de vapor a baja presión (hasta 10 bares), aceite térmico y en el aprovechamiento del circuito de alta temperatura del agua de refrigeración del motor. Son también adecuadas para la producción de frío por absorción, bien a través del vapor generado con los gases en máquinas de doble efecto, o utilizando directamente el calor del agua de refrigeración en máquinas de simple efecto (Trigeneración).

Este tipo de instalaciones es conveniente para potencias bajas (hasta 15 MW) en las que la generación eléctrica es muy importante en el peso del plan de negocio. Los motores son la máquina térmica que más rendimiento tiene, pues es capaz de convertir actualmente hasta el 45% de la energía química contenida en el combustible en energía eléctrica, y se espera que en los próximos años este rendimiento aumente.

#### **2.3.10.5 Cogeneración con Turbina de Gas en ciclo simple**

En los sistemas con turbina de gas se quema combustible en un turbogenerador. Parte de la energía se transforma en energía mecánica, que se transformará con la ayuda del alternador en energía eléctrica. Su rendimiento eléctrico es inferior al de los motores alternativos, pero presentan la ventaja de que permiten una recuperación fácil del calor, que se encuentra concentrado en su totalidad en sus gases de escape, que

está a una temperatura de unos 500°C, idónea para producir vapor en una caldera de recuperación

Cuando se presenta en el denominado ciclo simple, el sistema consta de una turbina de gas y una caldera de recuperación, generándose vapor directamente a la presión de utilización en la planta de proceso asociada a la cogeneración. Su aplicación es adecuada cuando los requisitos de vapor son importantes (>10 t/h), situación que se encuentra fácilmente en numerosas industrias (alimentación, química, papelera). Son plantas de gran fiabilidad y económicamente rentables cuando están diseñadas para una aplicación determinada.

El diseño del sistema de recuperación de calor es fundamental, pues su economía está directamente ligada al mismo, ya que a diferencia de las plantas con motores alternativos el precio del calor recuperado es esencial en un ciclo simple de turbina de gas.

#### **2.3.10.6 Cogeneración en ciclo combinado con Turbina de Gas y Vapor.**

En el gráfico adjunto puede verse que los gases de escape de la turbina pueden tirarse a la atmósfera si no se requiere aprovechamiento térmico, a través del bypass, o pueden atravesar la caldera de recuperación, donde se produce vapor de alta presión. Este vapor puede descomprimirse en una turbina de vapor produciendo una energía eléctrica adicional. La salida de la turbina será vapor de baja presión, que puede aprovecharse como tal o condensarse en un condensador presurizado, produciendo

agua caliente o agua sobrecalentada, que será utilizada en la industria asociada. Si la demanda de vapor es mayor que la que pueden proporcionar los gases de escape, puede producirse una cantidad de vapor adicional utilizando un quemador de postcombustión, introduciendo una cantidad adicional de combustible (gas natural) directamente a un quemador especial con el que cuenta la caldera. Esto puede hacerse porque los gases de escape son aun suficientemente ricos en oxígeno (en un ciclo combinado con motor alternativo no podría hacerse, ya que los gases de escape son pobres en oxígeno)

En un ciclo combinado con turbina de gas el proceso de vapor es esencial para lograr la eficiencia del mismo. La selección de la presión y la temperatura del vapor vivo se hacen en función de las turbinas de gas y vapor seleccionadas, selección que debe realizarse con criterios de eficiencia y economía. Por ello se requiere una ingeniería apropiada capaz de crear procesos adaptados al consumo de la planta industrial asociada a la cogeneración, que al mismo tiempo dispongan de gran flexibilidad que posibilite su trabajo eficiente en situaciones alejadas del punto de diseño.

Una variante del ciclo combinado expuesto, en el que la turbina de vapor trabaja a contrapresión (esto es, descomprime el vapor entre una presión elevada y una presión inferior, siempre superior a la atmosférica) es el ciclo combinado a condensación, en el que el aprovechamiento del calor se realiza antes de la turbina de vapor, quedando ésta como elemento final del proceso. El vapor de salida se condensa en un condensador que

trabaja a presión inferior a la atmosférica, para que el salto térmico sea el mayor posible.

### **2.3.11 Accesorios que intervienen en la Generación de Vapor**

#### **2.3.11.1 Caldera**

La caldera, en la industria, es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase a vapor saturado en el domo para luego recorrer el Sobrecalentador y salir como vapor sobrecalentado.

Según la ITC-MIE-AP01, caldera es todo aparato de presión donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor.

La caldera es un caso particular en el que se eleva a altas temperaturas un set de intercambiadores de calor, en la cual se produce un cambio de fase. Además, es recipiente de presión, por lo cual es construida en parte con acero laminado a semejanza de muchos contenedores de gas.

### **2.3.11.2 Economizador**

Dentro de los muchos elementos o accesorios que existen en las calderas de vapor, hay uno que destaca más que el resto que es el economizador. Se trata de un elemento el cual tiene como fin el hecho de recuperar el calor sensible de los gases de salida de una caldera de vapor para aumentar así la temperatura del fluido de alimentación, la cual generalmente es agua

El funcionamiento es muy sencillo ya que está formado por unos tubos los cuales hacen que se pase el agua de alimentación antes de que ésta se inyecte en el domo de la caldera. Los gases de combustión pasan por los tubos del economizador y así se van calentando el agua que alimentan.

El uso de un economizador se debe generalmente ya que permite que aprovechen el calor sensible de los humos y los productos de la combustión que de otra forma se expulsarían a la atmósfera sin más.

Dentro de las ventajas del uso del economizador en calderas tenemos:

- i) Ahorro de energía y combustible.
- ii) Disminución de la operación de químicos en el tratamiento de agua.

Como en todo, también existen algunos inconvenientes. En este caso los inconvenientes se tratan de que al ser un equipo extra, requiere de revisiones y de mantenimiento.

Tampoco es un equipo adecuado para la producción inconstante ya que de lo contrario su funcionamiento no sería el más óptimo.

Como se puede ver, el economizador tiene algunas grandes ventajas pero tiene que ser muy bien utilizado para ello, de lo contrario podría generar algunos inconvenientes. Requiere de un mantenimiento adecuado para que su funcionamiento sea el correcto con lo cual hay que hacer revisiones más a menudo.

### **2.3.11.3 Sobrecalentador**

El Sobrecalentador de vapor instalado en la Caldera, consigue incrementar la temperatura de salida del vapor por encima de su temperatura de saturación. De esta forma obtenemos un vapor sobrecalentado a alta temperatura.

El Sobrecalentador es básicamente un intercambiador de calor gases-vapor, diseñado teniendo en cuenta las particularidades de su trabajo con gases de combustión.

Consta de dos circuitos:

a) Circuito de vapor

Consiste en un haz de tubos lisos de acero, con una configuración adaptada a sus condiciones de trabajo.

b) Circuito de gases

Dispuesto en contracorriente del circuito de vapor está formado por una carcasa en chapa de acero y perfiles laminados.

#### **2.3.11.4 Pre- calentador de aire**

El diseño de estos equipos permite calentar aire a partir de humos de combustión de un horno o motor cuando están a una temperatura cercana a su punto de rocío habiendo riesgo de corrosión por condensación (salida de humos entre 250 y 150 °C).

Dependiendo de los corrosivos y de la temperatura del gas es necesario utilizar tubos de fundición, tubos de vidrio para no alcanzar el punto de rocío ácido. La presión del aire y los humos afecta al diseño para garantizar una estanqueidad total.

Pre-calentadores de aire reducen el consumo de combustible en las calderas y hornos de 10 a 25% mediante la recuperación de calor de los gases de escape y se pueden utilizar con todos tipos de combustibles como el carbón, gas, biomasa (madera) y gasoil.

Pre-calentador de aire permite mejorar la eficiencia energética del horno hasta un 92% y principalmente está diseñado para funcionar en hornos de proceso, calderas e incineradores.

#### **2.3.11.5 Lavador de gases**

Es un sistema de control de emisiones que no solo permite remoción de partículas sino que también funciona como absorbedor de gases contaminantes. Otros equipos para control de emisiones: lavador de gases tipo jet Venturi y lavador de gases tipo torre.

Estos equipos se emplean como unidades de depuración complementarias a ciclones y multiciclones que son utilizados principalmente para remover partículas de mayor tamaño

En la sección convergente la velocidad del gas se incrementa debido a la reducción del área transversal del ducto. El líquido se introduce directamente en la garganta o en la sección convergente y el gas es forzado a moverse a velocidades extremadamente altas en la pequeña sección de la garganta produciendo una enorme cantidad de gotas que atrapan los contaminantes en el sistema de control de emisiones.

#### **2.3.11.6 Precipitador Electrostático**

Un precipitador electrostático (PES) es un dispositivo de control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para mover las partículas fuera de la corriente de gas y sobre las placas del colector. A las partículas se les da una carga eléctrica forzándolas a que pasen a través de una corona, una región en la cual fluyen iones gaseosos. El campo eléctrico que fuerza a las partículas cargadas hacia las paredes, proviene de electrodos que se mantienen a un alto voltaje en el centro de la línea de flujo. La Figura 3.1 es un ejemplo de los componentes del precipitador electrostático. Una vez que las partículas son recolectadas sobre las placas, deben ser removidas de las placas sin que se reencaucen en la corriente de gas. Esto se logra usualmente desprendiéndolas de las placas, permitiendo que la capa de

partículas recolectada se deslice hacia una tolva desde la cual son evacuadas. Algunos Precipitadores remueven las partículas con lavados con agua intermitente o continua.

## **2.3.12 Accesorios que intervienen en la generación de electricidad**

### **2.3.12.1 Turbogenerador**

Equipo utilizado para la generación de energía eléctrica. El término Turbo se aplica en su nombre porque es impulsado por una turbina y el término generador porque el dispositivo impulsado por la turbina, es llamado generador (generador eléctrico), también se le llama grupo turbina a vapor alternador o Turbogenerador. En el generador, se aprovecha la energía mecánica que entrega la turbina en forma de giro, para convertirla en energía eléctrica por el principio de generación de electricidad de ELECTROMAGNETISMO En el turbogenerador también se encuentran integrados algunos sistemas auxiliares y complementarios tales como sistema de enfriamiento, sistema de lubricación, sistema de mediciones, tablero del turbogenerador.

a) Partes del Turbogenerador:

i) Generador Eléctrico

Un generador es una máquina eléctrica rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica. Lo consigue gracias a la interacción de los dos elementos principales que lo

componen: la parte móvil llamada rotor, y la parte estática que se denomina estator.

Cuando un generador eléctrico está en funcionamiento, una de las dos partes genera un flujo magnético (actúa como inductor) para que el otro lo transforme en electricidad (actúa como inducido).

Los generadores eléctricos se diferencian según el tipo de corriente que producen. Así, nos encontramos con dos grandes grupos de máquinas eléctricas rotativas: los alternadores y las dinamos.

Los alternadores generan electricidad en corriente alterna. El elemento inductor es el rotor y el inducido el estator. Un ejemplo son los generadores de las centrales eléctricas, las cuales transforman la energía mecánica en eléctrica alterna.

Las dinamos generan electricidad en corriente continua. El elemento inductor es el estator y el inducido el rotor. Un ejemplo lo encontraríamos en la luz que tiene una bicicleta, la cual funciona a través del pedaleo.

### **Principio de Funcionamiento del Generador Eléctrico: Ley de Faraday**

El principio de funcionamiento de los generadores se basa en el fenómeno de inducción electromagnética.

La Ley de Faraday. Esta ley nos dice que el voltaje inducido en un circuito es directamente proporcional al cambio del flujo magnético en un conductor o espira. Esto quiere decir que si tenemos un campo magnético generando un flujo magnético, necesitamos una espira por donde circule una corriente para conseguir que se genera la f.e.m. (fuerza electromotriz).

Este descubrimiento, realizado en el año 1830 por Michael Faraday, permitió un año después la creación del disco de Faraday. El disco de Faraday consiste en un imán en forma de U, con un disco de cobre de doce pulgadas de diámetro y  $\frac{1}{5}$  de pulgas de espesor en medio colocado sobre un eje, que está girando, dentro de un potente electroimán. Al colocar una banda conductora rozando el exterior del disco y otra banda sobre el eje, comprobó con un galvanómetro que se producía electricidad mediante imanes permanentes. Fue el comienzo de las modernas dinamos, es decir generadores eléctricos que funcionan por medio de un campo magnético. Era muy poco eficiente y no tenía ningún uso como fuente de energía práctica, pero demostró la posibilidad de generar electricidad usando magnetismo y abrió la puerta a los conmutadores, dinamos de corriente continua y finalmente a los alternadores de corriente.

Como se observa en el capítulo de electromagnetismo, cuando dentro de un campo magnético tenemos una espira por donde circula una corriente eléctrica aparecen un par de fuerzas que provocan que

la espira gire alrededor de su eje. De esta misma manera, si dentro de un campo magnético introducimos una espira y la hacemos girar provocaremos la corriente inducida. Esta corriente inducida es la responsable de la f.e.m. y será variable en función de la posición de la espira y el campo magnético.

La cantidad de corriente inducida o f.e.m. dependerá de la cantidad de flujo magnético (también llamado líneas) que la espira pueda cortar, cuanto mayor sea el número, mayor variación de flujo generará y por lo tanto mayor fuerza electromotriz.

Al hacer girar la espira dentro del imán conseguiremos una tensión que variará en función del tiempo. Esta tensión tendrá una forma alterna, puesto que de  $180^\circ$  a  $360^\circ$  los polos estarán invertidos y el valor de la tensión será negativo.

El principio de funcionamiento del alternador y de la dinamo se basa en que el alternador mantiene la corriente alterna mientras la dinamo convierte la corriente alterna en corriente continua.

## ii) Excitatriz

La excitatriz es la encargada de suministrar la tensión y corriente continua para alimentar el rotor de un generador síncrono, y convertir a éste en un electroimán con capacidad en general para regular la intensidad del campo magnético.

La resistencia que ofrece el bobinado del rotor es fija, por lo que variando la tensión continua de alimentación se consigue variar la intensidad de la corriente que circula por el rotor, variando así la intensidad del campo magnético de acoplamiento.

El gran problema mecánico que tiene que resolver la excitatriz es el de conectar los cables que alimentan las bobinas del rotor, en movimiento, con elementos externos, que no giran. El problema puede resolverse mecánicamente o eléctricamente, dando lugar a diferentes tipos de excitatriz. Todas ellas deben tener idealmente la capacidad de regular la tensión de alimentación del rotor, para variar el campo magnético de acoplamiento.

Existen tres tipos básicos de excitatriz:

- Excitatriz estática o de anillos rotativos
- Excitatriz de imanes permanentes
- Excitatriz de diodos giratorios

La variación del campo magnético de acoplamiento (es decir, el campo magnético del rotor que será visto como un campo magnético variable por el estator) produce efectos diferentes, dependiendo del tamaño de la red eléctrica conectada al generador.

### 2.3.12.2 Sincronoscopio

El Sincronoscopio es una herramienta que proporciona, visualmente, la condición de sincronismo entre los dos circuitos correspondientes a las máquinas que van a entrar en paralelo, o mejor dicho indica cuando hay diferencia angular en las fases entre los dos circuitos correspondientes a las máquinas consideradas. No es un instrumento de medición real, ya que no mide ninguna cantidad eléctrica. Es necesario cuando entramos en un alternador síncrono en una línea eléctrica ya suministrado. Esta es una condición muy común, cuando los alternadores salen de línea y luego se deben poner de nuevo en paralelo con la red eléctrica, por diversas razones.

Para sincronizar un generador trifásico en paralelo con un sistema eléctrico, es necesario que se establezca la igualdad entre los siguientes parámetros:

- i) Igualdad de Tensión
- ii) Igualdad de Frecuencia y
- iii) Coincidencia de fases homólogas de los campos magnéticos.

El cual integra las tres funciones de sincronización, facilitando así la puesta en paralelo de un generador con su sistema eléctrico.

### **2.3.12.3 Transformador**

Se denomina transformador a una máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo constante la frecuencia.

La potencia que ingresa al equipo no varía en el caso de un transformador ideal (sin pérdidas) pero las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño, tamaño, etc.

Su funcionamiento se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio.

Las bobinas o devanados se denominan primarios y secundarios según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente. También existen transformadores con más devanados; en este caso, puede existir un devanado "terciario", de menor tensión que el secundario.

### **2.3.12.4 Seccionador**

Un seccionador es un componente electromecánico que permite separar de manera mecánica un circuito eléctrico de su alimentación, garantizando visiblemente una distancia satisfactoria de aislamiento eléctrico. El objetivo puede ser, por ejemplo, asegurar la seguridad de las personas que trabajen sobre la parte aislada del circuito eléctrico o bien eliminar una

parte averiada para poder continuar el funcionamiento con el resto del circuito.

Un seccionador, a diferencia de un disyuntor o de un interruptor, no tiene mecanismo de supresión del arco eléctrico y por tanto carece de poder de corte. Es imperativo detener el funcionamiento del circuito con anterioridad para evitar una apertura en carga. En caso contrario, se pueden producir daños severos en el seccionador debidos al arco eléctrico.

#### **2.3.12.5 Interruptor de Potencia**

El interruptor de Potencia es un dispositivo electromecánico cuya función principal es la de conectar y desconectar circuitos eléctricos bajo condiciones normales o de falla. Adicionalmente se debe considerar que los interruptores deben tener también la capacidad de efectuar recierres, cuando sea una función requerida por el sistema.

Se requiere en cualquier interruptor de potencia, sin tomar en cuenta su aplicación particular, efectúe cuatro operaciones fundamentales:

- i) Cerrado debe ser un conductor ideal.
- ii) Abierto, debe ser un aislador ideal.

Cerrado debe ser capaz de interrumpir la corriente a que fue diseñado, rápidamente y en cualquier instante, sin producir sobre voltajes peligrosos.

Abierto debe ser capaz de cerrar rápidamente y en cualquier instante, bajo corrientes de falla, sin soldarse los contactos por las altas temperaturas.

iii) De acuerdo con la secuencia de operación de un interruptor, la operación de cierre y apertura se realiza por medios mecánicos, que los mantiene unidos bajo presión, haciendo posible el flujo de la corriente eléctrica de un punto hacia otro. La interrupción de un circuito eléctrico comprende dos pasos. El primero consiste en intercalar un entrehierro con un conductor gaseoso a la trayectoria metálica original.

iv) El segundo consiste en eliminar la habilidad de conducción de la corriente en esta sección gaseosa. El principio fundamental de este proceso, es la rápida conversión de una sección conductora predeterminada del circuito en una sección que no permita el flujo de la corriente. Esto es posible ya que el conductor gaseoso, también conocido como plasma del arco, es la única sustancia capaz de un buen conductor, a un aislador confiable, solamente con variar su temperatura con un factor de diez (10000 a 1000°K).

#### **2.3.12.6 Puesta a Tierra del Generador**

Prácticamente todos los generadores de las centrales eléctricas son conectados en estrella con el neutro aterrizado. Lo que se persigue con

este aterrizaje es evitar, en lo posible, el desplazamiento del neutro, y por tanto, el desbalance de fases en el generador.

Un generador trifásico conectado en configuración Y con el neutro no aterrizado (flotante), se muestra en la Figura 2.10, donde se destaca un fallo de línea a tierra en una de sus fases.

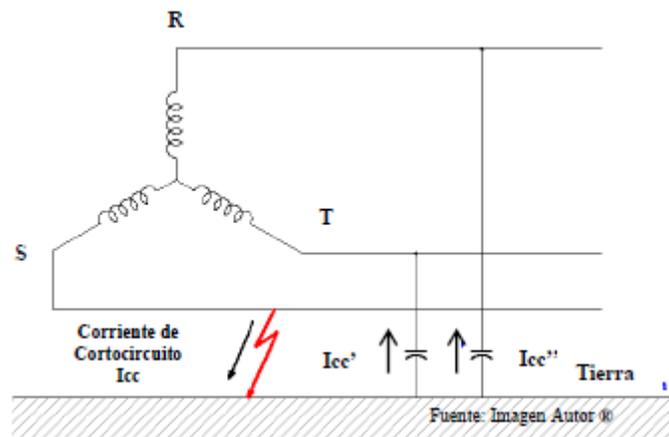


Figura 03. Generador Trifásico con Neutro Flotante.

Fuente: Centrales de Generación y Subestaciones E. – Francisco H. Nunez

Las consecuencias de no disponer de aterrizaje en el neutro del generador son las siguientes:

1. Aumento de la tensión o sobre tensión con respecto a tierra en las fases no aterrizadas.
2. Aparición de tierras intermitentes en las fases no averiadas, o “recebamiento” del arco, debido a esta sobre tensión.
3. Necesidad de mayor capacidad de aislamiento en los devanados o bobinas de la armadura del generador, aisladores, interruptores,

transformadores y equipos eléctricos para soportar dicha sobre tensión.

Si el neutro del generador esta puesto a tierra, el aterrizaje de una fase no afecta a las otras, quedando la perturbación localizada en la fase afectada, con lo cual se logra una mayor estabilidad en el sistema de potencia.

La Figura muestra un generador trifásico con su neutro puesto a tierra. Como se deduce de la figura, la corriente de cortocircuito retorna al generador por el neutro, con lo cual no se afectan las fases no aterrizadas:

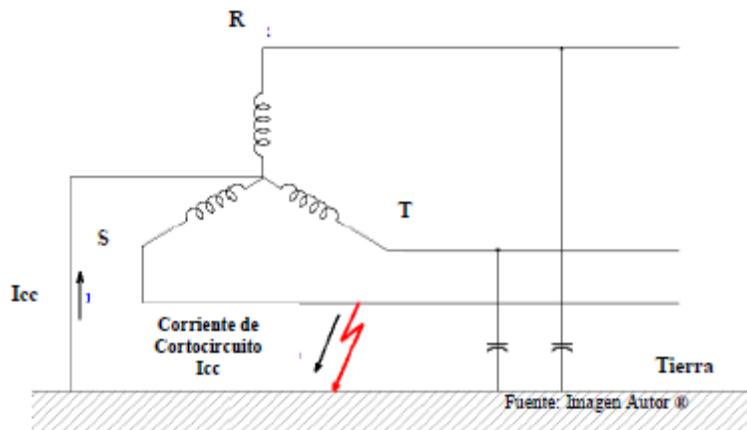


Figura 04. Falla asimétrica de línea-tierra con Neutro Aterrizado

Fuente: Centrales de Generación y Subestaciones E. – Francisco H. Nunez

## 2.3.13 Fundamentos Técnicos de Líneas Eléctricas

### 2.3.13.1 Parámetros Eléctricos

Cualquier circuito eléctrico está formado por algunos de los siguientes elementos: resistencia, inductancia, capacidad y conductancia. Con estos componentes se forman la totalidad de los sistemas eléctricos actuales, desde un simple circuito hasta los más complejos sistemas de potencia. Es posible realizar una clasificación de los elementos eléctricos, dependiendo de la forma en que éstos influyen dentro de un sistema eléctrico. Así, se crean dos grupos diferenciados: los parámetros eléctricos longitudinales, formados por la resistencia y la inductancia; y los parámetros eléctricos transversales, formados por la capacidad y la conductancia.

a. Parámetros longitudinales.

R  $\Leftrightarrow$  RESISTENCIA  $\Rightarrow$  Ohmios

L  $\Leftrightarrow$  INDUCTANCIA  $\Rightarrow$  Henrios

b. Parámetros transversales.

C  $\Leftrightarrow$  CAPACIDAD  $\Rightarrow$  Faradios

G  $\Leftrightarrow$  CONDUCTANCIA  $\Rightarrow$  Siemens

Existen otras magnitudes que matemáticamente sirven de nexo de unión de los parámetros anteriores, algunas de las más importantes son:

$$Z=(R+jX) \Leftrightarrow \text{IMPEDANCIA} \Rightarrow \text{Ohmios}$$

$$Y=(G+jB) \Leftrightarrow \text{ADMITANCIA} \Rightarrow \text{Siemens}$$

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \Leftrightarrow \text{REACTANCIA INDUCTIVA}$$

$$B = \omega C = 2\pi f C \Leftrightarrow \text{SUSCEPTANCIA}$$

### 2.3.13.2 Resistencia R ( $\Omega$ )

La resistencia es la oposición que cualquier material ofrece al paso de la corriente eléctrica. Aunque su estudio se remonta a los primeros descubrimientos eléctricos, no se interrelacionó con otras magnitudes eléctricas hasta que George Simon Ohm formuló su ley fundamental, base de toda la electricidad, que ligaba esta oposición con la tensión o diferencia de potencial y la intensidad que circulaba por un circuito.

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{ó bien} \quad R = \frac{U}{I}$$

Conceptualmente la resistencia de cualquier elemento conductor depende de sus dimensiones físicas y de la resistividad, pudiéndose expresarse como:

Donde:

R = Resistencia eléctrica a 20°C (en  $\Omega$ )

$\rho$  = Resistividad (en  $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ )

L = Longitud del cable (en m)

S = Sección del cable (en  $\text{mm}^2$ )

### 2.3.13.3 Inductancia L (H)

El concepto de inductancia fue estudiado y descubierto por Faraday en 1831. De forma general, la inductancia es la propiedad de un elemento del circuito que aprovecha la capacidad de la energía de almacenarse en una bobina en forma de campo magnético. Sin embargo, una característica importante y distintiva de la inductancia es que, su presencia sólo se percibe cuando existe corriente alterna. Así, aunque un elemento pueda tener inductancia en virtud de sus propiedades geométricas y magnéticas, su presencia en el circuito no será efectiva a menos que exista un cambio de la corriente en función del tiempo (corriente alterna, AC). El campo magnético creado por un conductor depende de la corriente que circule por el mismo en el instante considerado.

#### a. Inductancia de una Línea Eléctrica:

La inductancia industrial de una línea se determina en Henrios (H), utilizando la siguiente expresión:

$$L = \left[ \frac{\mu}{2.n} + 2. \text{Ln} \left( \frac{De}{Re} \right) \right] \cdot 1. 10^{-4} \cdot long \quad [\text{H}]$$

Donde:

$n$  = Número de cables por fase

$D_e$  = Distancia media geométrica entre fases (mm)

$R_e$  = Radio equivalente (mm)

$L$  = Longitud de la línea (km)

$\mu$  = Permeabilidad

La inductancia en las líneas se acostumbra a determinar en (H/Km), de forma que la expresión anterior queda de la siguiente forma:

$$L(k) = \left[ \frac{\mu}{2 \cdot n} + 2 \cdot \ln \left( \frac{D_e}{R_e} \right) \right] \cdot 10^{-4} \cdot \text{long} \quad [\text{H/Km}]$$

La permeabilidad depende de las características del material y de las condiciones eléctricas a las que esté sometido:

Permeabilidad:  $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$

Permeabilidad absoluta:  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$

Permeabilidad relativa:  $\mu_r \rightarrow$  (Tablas,...)

Donde:

$\mu = 1 \Rightarrow$  Cu, Al, aleaciones.

$\mu = 200 \Rightarrow$  Acero galvanizado

## **b. Disposiciones más comunes de los circuitos eléctricos de transporte de energía**

Vamos a definir el radio equivalente y la distancia media geométrica entre fases, en función de las características de los circuitos de transporte de energía eléctrica más usuales.

- **Radio Equivalente:** La fórmula general del radio equivalente se muestra a continuación:

$$re = \sqrt[n]{r \cdot n \cdot R^{n-1}}$$

### **2.3.14 Evaluación Económica**

La evaluación económica constituye la parte final de toda una secuencia de análisis de factibilidad en los proyectos de inversión, en la cual, una vez concentrada toda la información generada en los capítulos anteriores, se aplican métodos de evaluación económica que contemplan el valor del dinero a través del tiempo, con la finalidad de medir la eficiencia de la inversión total involucrada y su probable rendimiento durante su vida útil. Especialmente, en los proyectos de carácter lucrativo, la parte que corresponde a la evaluación económica es fundamental; puesto que con los resultados que de ella se obtienen, se toma la decisión de llevar a cabo o no la realización de un proyecto determinado.

### 2.3.14.1 Valor Actual Neto

El valor actual neto es uno de los criterios económicos más ampliamente utilizado en la evaluación de proyectos de inversión, que consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo que genera un proyecto y comparar esa equivalencia con el desembolso inicial.

Para su cálculo es preciso contar con una tasa de descuento o bien, con un factor de actualización al cual se le descuenta el valor del dinero en el futuro a su equivalente en el presente. Y una vez aplicado la tasa de descuento, los flujos resultantes que se traen al tiempo cero (presente) se llaman flujos descontados.

De tal modo que, “el valor actual neto es precisamente el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial, lo que significa comparar todas las ganancias esperadas contra los desembolsos necesarios para producir esas ganancias en el tiempo cero (presente)”.

Con este método se define la aceptación o rechazo de un proyecto de acuerdo con los siguientes criterios de evaluación:

- a) Si el VAN es  $< 0$ , se rechaza el proyecto.
- b) Si el VAN es  $= 0$ , el proyecto es indiferente.
- c) Si el VAN es  $> 0$ , se acepta el proyecto.

### 2.3.14.2 Tasa Interna de Rendimiento

La tasa interna de rendimiento, también conocida como tasa interna de retorno, es un indicador financiero que mide el rendimiento de los fondos que se pretenden invertir en un proyecto. Es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial; en la cual se supone que el dinero que se gana año con año, se reinvierte en su totalidad. De tal manera que se trata de la tasa de rendimiento generada en el interior de la empresa por medio de la inversión.

Por lo cual, la tasa interna de rendimiento permite conocer el rendimiento real de una inversión.

Se determina por medio de tanteos (prueba y error) hasta que la tasa de interés haga igual la suma de los flujos descontados, a la inversión inicial. Los criterios para decidir la aceptación o rechazo de un proyecto por este método se muestran a continuación:

- a) Si la TIR < a la tasa mínima aceptable de rendimiento del proyecto (TMAR), se rechaza, ya que el proyecto genera menos beneficios que el interés pagado por la banca; ante lo cual sería más atractivo depositar el monto de los recursos disponibles en el banco o bien, optar por una alternativa de inversión rentable.
- b) Si la TIR = a la tasa mínima aceptable de rendimiento del proyecto, el proyecto es indiferente. De tal manera que los beneficios del proyecto sólo pagarán los costos.

- c) Si la TIR > a la tasa mínima aceptable de rendimiento del proyecto, el proyecto se acepta. Lo que significa que el beneficio real que se obtiene con el proyecto es mayor a la tasa de interés que pagan los bancos.

**Formula:**

$$TIR = T1 + (T2 - T1) \frac{VAN T1}{VAN T1 - VAN T2}$$

Donde:

T1: Tasa que genera el valor actual neto positivo

T2: Tasa que genera el valor actual neto negativo

VAN 1: Valor actual neto positivo

VAN 1: Valor actual neto negativo

### 2.3.14.3 Relación Beneficio – Costo

La relación beneficio-costos es un indicador que señala la utilidad que se obtendrá con el costo que representa la inversión; es decir, que por cada peso invertido, cuánto es lo que se gana.

El resultado de la relación beneficio-costos es un índice que representa el rendimiento obtenido por cada peso invertido.

- a) Si la relación B/C es < 1, se rechaza el proyecto.
- b) Si la relación B/C es = 1, la decisión de invertir es indiferente.

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

Lo anterior significa que cuando el índice resultante de la relación beneficio-costos sea mayor o menor a la unidad, es la rentabilidad o pérdida que tiene un proyecto por cada peso invertido en él.

El beneficio-costos del proyecto, se obtendrá mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

**Formula:**

$$\text{Relacion B/C} = \frac{\text{Beneficios Obtenidos}}{\text{Costos Incurridos}}$$

#### **2.3.14.4 Periodo de Recuperación de la Inversión**

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

Una vez obtenido el flujo acumulado en el horizonte de planeación del proyecto, se utiliza la siguiente fórmula:

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

**Donde:**

n: Año en que cambia de signo el flujo acumulado.

(FA)  $n - 1$ : Flujo neto de efectivo acumulado en el año previo a  $n$ .

(F)  $n$ : Flujo neto de efectivo en el año  $n$ .

## CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Tipo y diseño de la Investigación

**3.1.1 Diagnosticar el estado actual del equipamiento en la cogeneración y cómo repercute en el proceso de producción de azúcar.**

**3.1.2 Examinar las oportunidades de mejora en la cogeneración en la fábrica de Tumán.**

**3.1.3 Diseñar la propuesta de implementación de equipamiento moderno para LA COGENERACION.**

Aquí el caso base es el esquema típico que se encuentra instalado en la fábrica de azúcar, ciclo de vapor con turbina de contrapresión, calderas bagaceras de baja eficiencia energética (62 %), que generan vapor a 20 atm. de presión y temperatura de sobrecalentamiento de 310°C. El proceso es el que determina la cantidad de vapor a ser producida por la caldera. Este esquema es factible de operar en temporada de zafra cuando el proceso está en operación.

Se promueven las alternativas de cogeneración, promoviendo el aumento de producción de energías térmicas y eléctricas, así como su correcta administración. Las alternativas consideran el aumento de la presión de la

caldera y un cambio de las turbinas de vapor las cuales son del tipo de extracción condensación.

### **3.2 Población y Muestra**

El tema de Investigación que se está considerando es la Cogeneración lo que consiste en la generación simultánea de vapor de alta presión para generar energía eléctrica en los turbogeneradores de la planta eléctrica y en las turbinas de accionamiento de los molinos del trapiche y el vapor de escape de estas turbinas que se usa para generar calor que se usa en el proceso de la fabricación del azúcar en la fábrica .El vapor de alta presión se genera en los equipos denominados Generadores de vapor o Calderas. Por lo que la población está compuesta por las Calderas de Vapor y las Turbinas de vapor y la muestra que se considerará es una Caldera de vapor y una turbina de vapor de generación de energía eléctrica.

### **3.3 Hipótesis**

La implementación de adecuados equipos en la cogeneración contribuirá a mejorar la eficiencia energética de la fábrica azucarera Tumán.

### 3.4 Variables – Operacionalización

**Variable Independiente:** Implementación de adecuados equipos EN LA COGENERACION de la fábrica azucarera Tumán.

**Variable Dependiente:** Mejora la eficiencia energética de la fábrica azucarera Tumán.

**Indicadores de la variable independiente:**

- Plan de implementación
- Equipamiento

**Indicadores de la variable dependiente:**

- Producción
- Cogeneración
- Costos

### 3.5 Métodos y técnicas de investigación

El diseño de prueba se considera como pre-experimental y el proceso se realizará del modo siguiente:

- 1° Se solicitará a los propietarios las autorizaciones correspondientes y se le presentará el proyecto de investigación.

2° Se determinará un cronograma para recojo de información.

3° Se examinarán los documentos de gestión.

4° Se presentará los resultados de la investigación a todos los que laboran en el Taller.

5° Se presentará la propuesta a la empresa.

### **3.6 Descripción de los instrumentos utilizados**

Para el control de procesos se utilizan sistemas de medición y sistemas de control del proceso con los que cuenta la planta de cogeneración y para ello tenemos:

#### **3.6.1 Sistemas de control de la planta de Cogeneración**

En la visita realizada a la planta se observó que los sistemas de control con los que cuenta la planta actualmente solo están orientados a proteger la vida y el comportamiento de los equipos. El control existente está más orientado a la realización del proceso, y no a la eficiencia del mismo.

Existen lasos de control ya instalados en la planta y que son:

##### **Para la Caldera:**

- Lasos de control para la combustión de la Caldera
- Lasos de control para la presión en la Caldera
- Lasos de control del agua de alimentación de la Caldera

**Para la Turbina:**

- Señal de control de la velocidad de la Turbina
- Señal de control de la temperatura de sobrecalentamiento del vapor de admisión de la Turbina
- Señal de control de la presión del vapor que llega a la Turbina

**Además se debe controlar en la Turbina:**

- El sistema y procedimiento de arranque
- El sistema de control de frecuencia y carga
- El sistema de control de la Tensión de generación

**Control de Temperatura**

- Control de temperatura de los cojinetes de apoyo de la Turbina y del Generador
- Con toda la información recolectada hay que resaltar que estos datos son los que se van a utilizar para el diseño de la Cogeneración.

**Los Instrumentos de medición con que cuenta la planta son:**

- Medidor de flujo de combustible
- Termómetros para medir:  
La temperatura del vapor sobrecalentado  
La temperatura de salida de los gases de la combustión del hogar, de la chimenea etc.

### **Manómetros de Presión para medir**

- Presión en el Domo de la Caldera
- Presión en el Sobrecalentador de vapor
- Presión en el hogar de la Caldera
- Presión del aire precalentado al hogar de la Caldera

### **Termómetros para medir la temperatura:**

- Del agua de alimentación a la caldera
- Del vapor sobrecalentado
- De los gases de la combustión etc.

## **3.7 Análisis estadístico e interpretación de los datos**

Como hemos mencionado en el acápite anterior, de la observación de la planta de procesos para identificar la realidad problemática, nos permite plantear los requerimientos técnicos tales como:

- La observación directa
- Análisis documental que nos permitirá elaborar fichas de resumen, normas técnicas y obtener catálogos de fabricantes.
- Relación de encuestas obtenidas directamente de los operadores de la planta para obtener información real y actualizada de los equipos, con el propósito de mejorar la eficiencia de las mismas.
- Entrevistas al jefe y al personal de operación de la planta.

## CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1 Datos Informativos

#### 4.1.1 Tema

El Tema trata de la implementación de los Equipos Adecuados en la Cogeneración de la Fábrica Azucarera Tumán- Chiclayo.

Esto se va a traducir en la mejora de la eficiencia de la generación, aumento de la molienda, venta de energía al sistema, descontaminación ambiental etc.

#### 4.1.2 Encargado de la Ejecución

El encargado de la ejecución es el bachiller Michael Smith Cruzado Rojas, este trabajo se va a realizar en el Ingenio Azucarero Tumán S.A.A.

#### 4.1.3 Beneficiarios

Los beneficiarios directos será la Empresa Agroindustrial Tumán, los estudiantes de nuestra Universidad de la especialidad, ya que tendrán una guía para su desempeño profesional.

#### 4.1.4 Ubicación

El Ingenio Azucarero Tumán se ubica en la provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque en el Norte del País.

#### 4.1.5 Equipo técnico responsable

El responsable de realizar el trabajo es el bachiller Michael Smith Cruzado Rojas egresado de la facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de nuestra Universidad.

## **4.2 Antecedentes de la propuesta**

Se mencionó en acápite anteriores que la Empresa Agroindustrial Paramonga implementó un turbogenerador de 20 MW y una Caldera de vapor de Alta presión. La planta Térmica de Paramonga tiene una potencia de 23 MW y entrega al País 115 000 MW.h de energía al año.

El MEM entregó en concesión a Paramonga para la instalación de la central térmica de 23 MW.

Agroindustrial San Jacinto en Chimbote, tiene una central de biomasa de: 21,7 MW de potencia instalada, del tipo de Cogeneración, siendo la fuente de energía el bagazo de la caña.

La turbina tiene una Potencia nominal de 27,1 MW.

## **4.3 Justificación**

El estudio del proceso de implementación de la Cogeneración en el Ingenio Azucarero Tumán está en el plan de crecimiento a corto plazo con el propósito de contar con un sistema que le permita mantener la confiabilidad del suministro de energía eléctrica en la misma empresa, así como para vender energía al sistema, así como para tener la disponibilidad del personal para operar el equipo de Cogeneración.

La Cogeneración reduce la emisión de contaminantes, debido principalmente a que es menor la cantidad de combustible que se consume para producir la misma cantidad de energía útil. Las actuales tecnologías de control permiten asegurar una óptima calidad de la energía eléctrica generada, tanto en tensión como en frecuencia.

Por lo antes mencionado es importante recalcar que este tema de investigación me permite como futuro Ingeniero estar en la capacidad de manejar todos los parámetros involucrados en el sistema que se va a diseñar, ya que por medio de este se pondrá en práctica los valiosos conocimientos adquiridos en la Universidad, como los que se van adquiriendo en la práctica.

#### **4.4 Fundamentación**

La idea de realizar la investigación surge a partir de nuestra preocupación frente a la coyuntura energética que se ve en nuestro País.

Esta situación se debe a grandes rasgos al progresivo aumento en la demanda de energía frente a la oferta.

Como hemos manifestado la Cogeneración es una técnica que permite producir electricidad y calor en un único proceso, generando así ahorro de energía, además de asegurar y mejorar la seguridad del abastecimiento.

Las centrales de Cogeneración de electricidad-calor pueden alcanzar un rendimiento energético del orden del 90 %. El procedimiento es más ecológico, ya que durante la combustión el gas natural o la biomasa liberan menos anhídrido carbónico y menos óxidos de nitrógeno que el petróleo o el carbón.

La implementación del sistema de cogeneración propuesto a implementar en el ingenio azucarero Tumán, para la generación de energía eléctrica con un turbogenerador de 22.3 MW con la finalidad de cambiar el accionamiento mecánico con turbinas a motores eléctricos y poder satisfacer la demanda de

energía en planta, y el excedente poder vender a la red, a través del SEIN.

Cuenta con los siguientes aspectos:

#### **4.4.1 Incremento de la presión de vapor**

Actualmente la caldera N° 6 produce 100 Ton Vap/h a una presión de 20 Bar y 310°C, siendo insuficiente la energía que proporciona el vapor en estas condiciones, por lo que se propone incrementar a 30 bar de presión y 350°C de temperatura de sobrecalentamiento.

#### **4.4.2 Turbogenerador de 22.3 MW**

##### **Turbina**

La Turbina es de diseño de condensación de tipo impulsor de cilindro único. La Turbina está equipada con una válvula controlada y otra no controlada de extracción de vapor. La dirección de la rotación es anti horaria visto desde el extremo de entrada de la turbina.

La Turbina está diseñada para impulsar un generador eléctrico utilizando una caja reductora de doble hélice.

El vapor de entrada es llevado a la turbina por una Válvula de Parada de Emergencia (SEV, Stop Emergency Valve) y tres válvulas de control. La presión de extracción es controlada mediante el diafragma del disco deslizante (válvula de rejilla), que requiere presión al estrangular el flujo de vapor en las siguientes etapas.

El rotor de la turbina está diseñado para funcionar a velocidades superiores a la primera velocidad crítica transversal y está mecanizado a partir de una sola aleación de acero sólido forjado. Los álabes móviles se mecanizan desde barra sólida o forjado.

Los álabes giratorios de las etapas 1 a 7 son del tipo cilíndrico. Los álabes cónicos y doblados de alta eficiencia se utilizan en las etapas 8 a 10. La base de los álabes son tipo T en todas las etapas. Las disposiciones de montaje correspondientes se mecanizan en el rotor, minimizando los efectos de desbalance.

Las características principales de la turbina son:

<b>MARCA</b>	<b>TRIVENI</b>
Modelo	TST-2240 HM
Presión De Vapor De Admisión	41 - 66 Bar (Abs)
Temperatura De Vapor De Admisión	400 - 485 °C (914°F)
Presión De Vapor De Extracción	2.5 Bar (Abs)
Presión De Salida Máxima (Vacío)	0.085 Bar (Abs)
Rotación	6890 rpm
Máximo Flujo De Vapor De Admisión	96 Ton/hr
Máximo Flujo De Vapor De Extracción	31.2 Ton/hr
Potencia Nominal Bornes Generador	22.3 MW
Presión De Vapor De Sangría	3.10 Bar (Abs)
Temperatura De Vapor De Sangría	151.6 °C
Flujo Max. De Vapor De Sangría	31.2 Ton/hr

Tabla N° 05. Datos Técnicos de Turbina

Fuente: Triveni Turbine.

<b>PARAMETROS</b>	<b>CONDICIONES NORMALES</b>
Presión De Vapor De Entrada	31 Bar
Temperatura De Vapor De Entrada	380°C
Temperatura De Vapor De Salida	0.085 Bar
Flujo De Extracción	36 TPH
Presión De Extracción	2.5 Bar

Tabla N° 06 Parámetros de Trabajo de Turbina.  
Fuente: Triveni Turbine.

Destacando los siguientes Puntos:

- i) Con un flujo de vapor en la admisión de 96 Ton/h en la admisión, extrayendo 36 Ton/h se obtiene una potencia de 18.8 MW.
- ii) Con un flujo de vapor en la admisión de 67 Ton/h en la admisión, extrayendo 36 Ton/h se obtiene una potencia de 12 MW.

### **Generador**

El generador transforma la energía mecánica producida por la turbina de vapor, esta máquina síncrona está constituido por el estator (parte fija) y del rotor (parte giratoria); este último es alimentado con corriente continua desde una excitatriz sin escobillas. La velocidad de sincronismo del generador se consigue a través de un reductor de 6890 rpm a 1800 rpm;

la refrigeración del generador es con aire, el mismo que a su vez es enfriado por intercambiadores de calor (aire-agua).

Fabricante	TD Power Systems
Modelo	TC195
Eficiencia	97.8 al 100% carga
Norma	IEC 34
Clasificación Térmica (Diseño/Uso)	F/B
Potencia Nominal	22.3 MW
Temperatura Del Aire De Enfriamiento	35°C
Tensión Nominal	13.8 KV
Desviación De Tensión	+/- 5%
Corriente Nominal	1166 A
Frecuencia/Velocidad	60 Hz /1800 rpm (rotor de 4 polos)
Factor De Potencia	0.80
Requerimientos De Excitación	234 A, 31 V (vacío)
	834 A, 75 V (plena carga)
Corriente De Cortocircuito Trifásico En Vacío Y A Voltaje Nominal Pico	16 KA

Tabla N° 07 Parámetros de Trabajo del Generador.  
Fuente: Triveni Turbine.

#### 4.4.3 Interconexión a la red nacional (SEIN)

##### 4.4.3.1 Normativa

- Ley de Concesiones Eléctricas y su Reglamento (1993, 1994), crea el mercado eléctrico y establece su arreglo institucional.

- Ley de Generación Eficiente (2006), promueve licitaciones y contratos de largo plazo como medio para respaldar inversión en generación a gran escala (grandes hidroeléctricas y otras tecnologías convencionales).
  
- Decreto Legislativo N° 1002 (“DL 1002”), 02/05/2008, declara de interés nacional y necesidad pública el desarrollo de la generación de electricidad mediante recursos renovables.
  - D.S. N° 012-2011-EM, 23/03/2011, aprobó reglamento de la generación de electricidad con energías renovables.
  - D.S. N° 020-2013-EM, 27/06/2013, aprobó reglamento para la promoción de la inversión eléctrica en áreas no conectadas a red.
  
- Resumen (DL-1002):
  - i) La Ley establece como prioridad nacional la promoción de las energías renovables.
  - ii) La Ley define como Recursos Energéticos Renovables (RER) a la fuente de Energía Renovable No Convencional:
    - Solar
    - Eólico
    - Geotérmico
    - Biomasa
    - Hidroeléctrico hasta 20 MW (Hidroeléctrica RER)

- ii) La Ley promociona las ventas de electricidad RER a través de SUBASTAS.

- **Normativa de incentivo a la cogeneración**

Reglamento de Cogeneración D.S. N° 064 – 2005-EM y su modificación

D.S. N° 082 – 2007

- i) Según este reglamento, el precio del gas natural aplicable a las “centrales de Cogeneración calificadas” es el mismo precio que corresponde a los generadores eléctricos.
- ii) El Cogenerador que opte por integrarse al COES, podrá comercializar su propia Potencia y Energía entregada al Sistema con Distribuidores, Generadores y/o clientes libres.

Según la Ley de Concesiones Eléctricas

Para formar parte del COES es suficiente tener una potencia de 1 MW

<b>MODIFICA REGLAMENTO COGENERACION: DS N° 082-2007-EM</b>			
<b>TECNOLOGIA</b>	<b>REE PARA POTENCIA INSTALADA &gt;3MW</b>	<b>REE PARA POTENCIA INSTALADA = 3MW</b>	<b>C=E/V</b>
Turbina de vapor a contrapresión	0.7	0.63	0.15
Turbina de vapor de extracción	0.58	0.52	0.3
Turbina de gas	0.55	0.5	0.4
Motor de combustión interna	0.55	0.5	0.5
MCI	0.55	0.5	0.6
BIOMASA	0.3	0.27	

**Tabla N° 08. Reglamento de Cogeneración**

**Fuente: Fonamperu.org.pe**

### **Rendimiento Eléctrico Efectivo (REE):**

$$REE = \frac{E}{Q - \frac{V}{0.9}}$$

E : Energía eléctrica generada medida en bornes de generador, expresada en MW.H

Q : Energía suministrada por el combustible utilizado, calculada en MWh y con base a su poder calorífico inferior

V : Calor Útil, expresado en MWh

La determinación del REE se efectuará para las condiciones de operación en su máxima capacidad de cogeneración durante dos (2) horas de operación continua.

### **Hallamos el REE para la C.T Tumán S.A.A. En dos horas de operación:**

#### **Equivalencias:**

- 860 Kcal → 1 KW.h
- bagazo (PCI) → 10500 KJ/Kg

#### **i. Cálculo del calor útil (V)**

- **Producción de energía eléctrica**

$$V1 = 15 \text{ MW} \times 2 \text{ horas} \times 860 \text{ Kcal} = 25,800,000.00 \text{ Kcal}$$

- Vapor para el Proceso de Producción

$$V2 = \frac{20000 \text{ Kg}}{\text{Hr}} \times \frac{10500 \text{ KJ}}{\text{Kg}} \times \frac{1 \text{ Hr}}{3600 \text{ seg}} \times 2 \text{ Hr} \times \frac{860 \text{ Kcal}}{1 \text{ KWh}}$$

$$V2 = 100,333,333.33 \text{ Kcal}$$

$$\text{Luego: } V = V1 + V2 = 126,133,333.33 \text{ Kcal}$$

**ii. Cálculo de energía primaria (Q)**

Consumo de bagazo → 35000 Kg / Hr

Luego:

$$Q = 2 \text{ Hr} \times 102,083.33 \text{ KW} \times \frac{860 \text{ Kcal}}{1 \text{ KWh}} = 175,583,333.33 \text{ Kcal}$$

**iii. Energía generada (E)**

$$E = 2 \text{ Hr} \times 15,000.00 \text{ KW} \times \frac{860 \text{ Kcal}}{1 \text{ KWh}} = 72,584,000.00 \text{ Kcal}$$

**Ahora reemplazamos en la fórmula de REE:**

$$REE = \frac{E}{Q - \frac{V}{0.9}}$$

$$REE = \frac{25,800,000.00}{175,583,333.33 - \frac{126,133,333.33}{0.9}}$$

$$REE = 0.728089888$$

#### **4.4.3.2 Subasta RER**

##### **A) Principales Actores de la Subasta**

###### **i. MINEM**

- Aviso Preliminar
- Energía Requerida
- Aprobación de Bases

###### **ii. OSINERGMIN**

- Convocatoria de Subasta
- Designación de Comité
- Aprobación de Procedimientos
- Logística del Proceso
- Determinación de Precios Máximos

###### **iii. COES**

- Límite de Inyección de Potencia en Barras
- Documento de No Objeción

###### **iv. NOTARÍA PÚBLICA**

- Certificación del Proceso
- Custodia de Documentos
- Actas

###### **v. COMITE**

##### **B) Criterios de Fondo**

###### **i. Criterios Generales**

- Introducir generación RER a gran escala
- Eficiencia y eficacia de la subasta

- Maximización de beneficios del consumidor

## **ii. Criterios Específicos**

- Simplicidad del proceso (carga de la prueba sobre el postor/garantías)
- Evitar posibilidad de colusión (confidencialidad, precios máximos en reserva)
- Evitar barreras de entrada (requisitos mínimos, declaraciones juradas)
- Credibilidad de las reglas y estructura de mercado.

### **4.4.3.3 Alcances de la Propuesta**

Suministro, diseño y pruebas del tablero SCADA y del tablero de reporte al COES; para el presente proyecto.

#### **Para el caso del SCADA**

El diseño de la arquitectura contempla 02 servidores redundantes para el SCADA los mismos que cada uno de los servidores tendrán implementado lo siguiente:

- 01 Licencia SCADA Enervista Viewpoint Monitoring (General Electric) para 50 IED's
- 01 Licencia SQL (Base de Datos)

Cada servidor interrogará directamente a todo el equipamiento involucrado para la integración a través del SCADA.

Cada servidor estampará el tiempo a todos los equipos involucrados en la integración.

Está contemplado el diseño de las pantallas, base de datos, reporte de eventos, alarmas propias de un SCADA

### **Para el caso del Reporte al COES**

El diseño de la arquitectura contempla 02 servidores ICCP redundantes, modelo D25 (General Electric), los cuales interrogaran a los servidores del SCADA para obtener la información que requiere el COES y reportaran en forma simultánea al COES (redundante).

### **PRECIOS**

Los precios ofertados están dados en DOLARES USA y no incluyen el IGV.

ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANT	UNIT US\$
<b>1</b>	<b>C.E TUMAN</b>			
1.1	Tablero del sistema de automatización (SCADA)	Und	1	68,090.13
1.2	Tablero del sistema de reporte al COES – SINAC	Und	1	16,627.92
1.3	Suministro suelto de Switches Ethernet para las salas eléctricas	Glob	1	12,128.26
1.4	Suministro y configuración de estación de trabajo	Glob	1	8,606.58
1.5	Configuración, prueba y puesta en servicio del sistema de automatización	Und	1	28,840.69
1.6	Configuración, pruebas y puesta en servicio del sistema de reporte al COES	Und	1	10,083.94
<b>TOTAL US\$</b>				<b>144,377.52</b>

Tabla N° 08. Cotización de Sistema de reporte a COES

Fuente: DITEC Proyectos S.A.C.

## CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 5.1 Resultados en Tablas y Gráficos

#### 5.1.1 Determinación de los Parámetros Termodinámicos de la Caldera Acuotubular

Para determinar convenientemente los intercambiadores de calor que componen la caldera, es necesario antes determinar los parámetros termodinámicos internos de la caldera, siendo estos la temperatura de los gases, y del fluido agua-vapor a la entrada y salida de cada uno de los intercambiadores, las entalpías del fluido en cada punto

#### Cálculo de vapor para producir 22.3 MW

Se plantea la instalación de una turbina de 22.3 MW

Los referidos parámetros del vapor a la salida del Sobrecalentador de la caldera son los siguientes:

- Caudal másico de vapor:
- Presión de vapor ( $p_1$ ): 20 bar
- Temperatura de vapor a la entrada de la turbina T1: 310°C

Se ha supuesto una pérdida en la línea de bajada desde el caldero hasta la entrada de la turbina de 15°C, descendiendo la temperatura de 325°C a 310°C. También se supone una pérdida de presión en línea de 1.5 bar.

Cálculo del vapor de la turbina

$$\text{Flujo masico} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Trabajo}}$$

$$\text{Potencia} = \text{Flujo másico} * \text{Trabajo}$$

Calculamos el trabajo de la turbina Para las condiciones del vapor de entrada de:

P1 = 30 Bar;      T1= 380°C      se tiene de tablas:

$$h1 = 3183,9 \text{ KJ/Kg} = 760,607 \text{ Kcal/Kg}$$

Para P2 = 2 Bar      T2 = 125°C      de tablas se tiene:

$$h2 = 2704,97 \text{ KJ/Kg} = 646,194 \text{ Kcal/Kg}$$

Por lo que siendo el trabajo:

$$W = h1 - h2 \quad \text{se tiene reemplazando:}$$

$$W = 760,607 - 646,194 = 114,417 \text{ Kcal/Kg} = 478,93 \text{ KJ/Kg}$$

Como para el cálculo del Vapor de la Turbina:

$$\dot{M} = Ne/W$$

El flujo de vapor para producir 15MW = 15 000 KJ/s será:

$$15\ 000\ \text{KJ/s} = \dot{M} * 478,93\ \text{KJ/Kg}$$

$$\dot{M} = 15\ 000/478,93\ \text{Kg/s} = 31,32\ \text{Kg/s}$$

$$\dot{M} = 31,32\ \text{Kg/s} * 3\ 600\ \text{s/1h} = 112\ 752\ \text{Kg de vapor/hora}$$

## 5.1.2 Cálculo Eléctrico de la Línea de Transmisión para la Interconexión al SEIN

### Datos Técnicos

Longitud	1.00	Km
Potencia a Transportar - Recepción	30.00	MVA
Potencia a Transportar - Recepción	25.50	MW
Tensión Nominal de Línea - Recepción	60.00	KV
Tensión Máxima	72.50	KV
Frecuencia	60.00	Hz
N° Conductores por Fase	1.00	
Corriente - Recepción	96.23	A
Factor de potencia	0.85	
Corriente Compleja	96.23 $\angle$ -31.788°	A
Corriente Compleja	81.7915806313849-50.6892157867817j	A

Tabla N° 08. Datos Técnicos para Cálculo de L.T  
Fuente: Elaboración Propia.

**Análisis para 4 tipos de Conductores (ALLIANCE, BUTTE, CANTON**

**Y CAIRO)**

CARACTERISTICAS	CARACTERISTICAS ELECTRICAS	UNIDAD	CONDUCTORES AAAC 6201				
			ALLIANCE	BUTTE	CANTON	CAIRO	
CARACTERISTICAS ELECTRICAS	Calibre	KCMIL	246.9000	312.8000	394.5000	465.40	
	Calibre	mm <sup>2</sup>	125.0000	159.0000	200.0000	236.00	
	N° Alambres	.....	7.0000	19.0000	19.0000	19.00	
	Peso	Kg/Km	343.2000	434.8000	548.5000	647.00	
	Carga de rotura	Kg-f	3,884.0000	4,767.0000	6,013.0000	7092.00	
	Ampacidad	A	395.0000	460.0000	532.0000	590.00	
	Resistencia a 20 ° C	Ω/Km	0.2680	0.2110	0.1680	0.14	
	Resistencia a 20 ° C	Ω	0.2680	0.2110	0.1680	0.14	
	Resistencia a 75 ° C	Ω/Km	0.3274	0.2578	0.2053	0.17	
	Resistencia a 75 ° C	Ω	0.3274	0.2578	0.2053	0.17	
CARACTERISTICAS MECANICAS	Diámetro exterior	mm	14.30	16.3	18.3	19.90	
	Radio	mm	7.15	8.15	9.15	9.95	
	RMG (Radio medio geométrico)	m	0.00519	0.00618	0.00694	0.00753	
	DME (Distancia media Equivalente)	m	3.40	3.40	3.40	3.40	
PARAMETRO DE LINEA DE TRANSMISION	Inductancia (L)	H/m	1.2970645E-06	1.2621476E-06	1.2389509E-06	1.2226322E-06	
	Inductancia (L)	H	1.2970645E-03	1.2621476E-03	1.2389509E-03	1.2226322E-03	
	Reactancia inductiva (X)	Ω	0.4889818	0.4758184	0.4670735	0.4609215	
	Capacitancia - C	F/m	9.02E-12	9.22E-12	9.40E-12	9.53E-12	
	Capacitancia - C	F	9.02E-09	9.22E-09	9.40E-09	9.53E-09	
	Admitancia capacitiva - Susceptancia (Y)	Ω	3.40E-06	3.48E-06	3.54E-06	3.59E-06	
	Impedancia (Z)	Ω	0.268+0.48898j	0.211+0.47582j	0.168+0.4671j	0.142+0.4609j	
			A	1.00	1.00	1.00	1.00
			B	0.268+0.48898j	0.211+0.47582j	0.168+0.4671j	0.142+0.4609j
			C	-	-	-	-
		D	1.00	1.00	1.00	1.00	
	VS	KV	106.706+26.4098 8368j	101.377+282225 1640j	97.417+29.68 6889j	94.978+30.50 1628j	

<b>CALCULO DE TENSION</b>	VS	Magnitud	109.926	105.232	101.84	99.756
<b>PARA EL CRITERIO DE TEMPERATURA</b>	Emisividad (ε)	.....	0.50	0.50	0.50	0.50
	Tc	° C	75.00	75.00	75.00	75.00
	Ta	° C	25.00	25.00	25.00	25.00
	Tfilm	° C	50.00	50.00	50.00	50.00
	Densidad del aire	Kg/m3	0.969	0.969	0.969	0.969
	Qc		19.73	21.77	23.74	25.28
	Qr		17.26	19.67	22.09	24.02
Qs	-	-	-	-	-	
<b>CRITERIOS</b>	Regulación	%	0.83	0.75	0.70	0.66
	Estabilidad	MW	11.47	11.28	11.12	11.04
	Corriente por temperatura	A	10.628	12.678	14.942	16.856

Tabla N° 09. Calculo de los parámetros de L.T

Fuente: Elaboración Propia

<b>CARGABILIDAD DE LA LINEA</b>		<b>ALLIANCE</b>	<b>BUTTE</b>	<b>CANTON</b>	<b>CAIRO</b>
LIMITE DE REGULACION	POTENCIA (MW)	8.50	8.50	8.50	8.50
ESTABILIDAD		11.47	11.28	11.12	11.04
LIMITE TERMICO		0.939	1.12	1.32	1.489

Tabla N° 10. Cargabilidad de la L.T

Fuente: Elaboración Propia.

### 5.1.2.1 Cálculo de los Valores en la Generación y Recepción de la Línea

#### a) Recepción

POTENCIA ACTIVA (MW)	DATOS EN LA RECEPCION							
	$\varphi_2$	$P_2$ (MW)	$Q_2 = P_2 \tan \varphi_2$ (MVAR)	$S_2 = \frac{1}{\cos \varphi_2} P_2$ (KVA)	$S_2$ COMPLEJO	$\bar{U}_2$ (KV)	$\bar{V}_2 = \frac{\bar{U}_2}{\sqrt{3}}$ (KV)	$\bar{I}_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3}\bar{U}_2 \cos \varphi_2} < \varphi_{V2} - \varphi_2$ COMPLEJA (KA)
25.5	31.788	25	15.803	29.9998	25500000+ 15803276.97j	60.00	34.64	245.3738644-152.0671035j

Tabla N° 11. Calculo en Recepción de L.T.

Fuente: Elaboración Propia.

#### b) Generación

TIPO DE CABLE	$\bar{V}_1 = A\bar{V}_2 + B\bar{I}_2$ (V)	$\bar{V}_1 = Valor < Angulo (V)$	
		VALOR ABSOLUTO	ANGULO
ALLIANCE	34781.1343915503+79.2293677153948j	34781.225	0.131
BUTTE	34765.1463662193+84.6672464411488j	34765.249	0.14
CANTON	34753.2654708165+89.0603496920067j	34753.38	0.147

Tabla N° 12. Calculo en Generación de L.T

Fuente: Elaboración Propia

TIPO DE CABLE	$\bar{I}_1 = C\bar{V}_2 + D\bar{I}_2$ (A)	$\bar{I}_1 = Valor < Angulo (Amp)$	
		VALOR ABSOLUTO	ANGULO
ALLIANCE	245.373864405591-152.067103548784j	288.674	-31.788
BUTTE	245.373864405591-152.067103548784j	288.674	-31.788
CANTON	245.373864405591-152.067103548784j	288.674	-31.788

Tabla N° 13. Calculo en Generación de L.T

Fuente: Elaboración Propia

TIPO DE CABLE	$\bar{U}_1 = \sqrt{3}\bar{V}_1 < Angulo, KV$		$\varphi_1 = \varphi_{V1} - \varphi_{I1}$ (C°)
	VALOR ABSOLUTO	ANGULO	
ALLIANCE	60.243	0.131	31.919
BUTTE	60.215	0.14	31.928
CANTON	60.195	0.147	31.935

Tabla N° 14. Calculo en Generación de L.T

Fuente: Elaboración Propia

TIPO DE CABLE	$P_1 = \bar{U}_1 \bar{I}_1 \sqrt{3} \cos \varphi_1$ (MW)	$Q_1 = \bar{U}_1 \bar{I}_1 \sqrt{3} \sin \varphi_1$ (MVA)	$S_1 = \bar{U}_1 \bar{I}_1 \sqrt{3} < \varphi_1, MVA$	
			VALOR ABSOLUTO	ANGULO (°)
ALLIANCE	25.567	15.926	30.121	31.919
BUTTE	25.553	15.922	30.107	31.928
CANTON	25.542	15.920	30.097	31.935

Tabla N° 15. Calculo en Generación de L.T

Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.2.2 Calculo de caída de Tensión

TIPO DE CABLE	POTENCIA ACTIVA (MW)	CAIDA DE TENSION (%)	CONCLUSIONES $\Delta U < 10\%$ CADA 100 KM
		$\Delta U = \frac{\bar{U}_1 - \bar{U}_2}{\bar{U}_1} * 100$	
ALLIANCE	25.5	0.40%	Aceptable
BUTTE	25.5	0.40%	Aceptable
CANTON	25.5	0.30%	Aceptable

Tabla N° 16. Calculo de Caída de tensión de L.T

Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.2.3 Calculo de la pérdida de Energía Activa

TIPO DE CABLE	POTENCIA ACTIVA (MW)	PERDIDA DE POTENCIA (%)	CONCLUSIONES $\Delta P < 3\%$ CADA 100 KM
		$\Delta P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$	
ALLIANCE	25.5	0.26%	Aceptable
BUTTE	25.5	0.21%	Aceptable
CANTON	25.5	0.16%	Aceptable

Tabla N° 17. Calculo de Pérdida de Energía en L.T

Fuente: Elaboración Propia

## 5.2 Discusión de los Resultados

De lo determinado de la Investigación, con la implementación de la cogeneración se consigue las siguientes ventajas:

- a) Reemplazar las Turbinas de vapor de accionamiento mecánico de los molinos del Trapiche, de la Turbina del Ventilador de Tiro Inducido de la caldera N°6, de las Turbinas de las bombas de agua de alimentación a las calderas de vapor, por motores eléctricos.

Con esto conseguiremos aumentar la molienda de caña de 3 600

Toneladas a 4 000 Toneladas día lo que significa un incremento de 400

Toneladas de caña por día.

Si por cada tonelada de caña se obtiene 100 Kg. de azúcar, significan 40 000 Kg. de azúcar que en bolsas de 50 Kg. significan un incremento de 800 bolsas diarias de azúcar.

- b) Con la implementación de la Cogeneración y según lo estipulado en el ítem 4.4.2 se determinó que con un flujo de vapor de 96 Tn/h se obtenía una potencia de 18,8 MW y con un flujo de vapor de 67 Tn/h se obtenía una potencia de 12 MW. En ambos casos y teniendo en cuenta las condiciones actuales de una generación de 4,5 MW, se generarían 7,5 MW más en el segundo caso y 14,3 MW más en el primer caso. Esto significa que en ambos casos estaríamos generando una cantidad mayor de energía eléctrica que sería comercializada y vendida al sistema.

## **5.2.1 Resultados de la Evaluación Económica**

### **5.2.1.1 Evaluación de Costo Beneficio**

El análisis Costo-Beneficio es una Herramienta Financiera que mide la relación entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión con el fin de evaluar su rentabilidad.

Para ello hay que tener en cuenta los siguientes ítems:

#### **a) INGRESOS MENSUALES**

- i) Por Aumento de Molienda de 3600 a 4000 Toneladas de caña día.

Se obtenían 800 bolsas de azúcar que con el precio de 90 soles por bolsa se obtienen 72 000 soles diarios y para una molienda de 28 días mensuales se obtienen 2 016 000 soles mensuales.

Con el aumento de la molienda a 4000 Toneladas, se produciría 80 bolsas extra por día. Obteniendo una ganancia extra de 2 116 800 soles.

- ii) Con la cogeneración se generan 10 MW más, que serían comercializados o vendidos al sistema, si consideramos el precio de venta de la energía a 25 USD/MW-hr, obtendríamos 160 MW-hr por 4000 dólares diarios que al cambio de 3,34 soles por dólar nos daría, 13 360 soles diarios que significan 400 800 soles mensuales.

Total, de Ingresos mensuales

En soles:  $201\ 600 + 400\ 800 = 602\ 400$

Si consideramos un equivalente de 1 dólar = 3,34 Soles, tendremos en:

En dólares: 180 359.28

Si se considera una molienda de 10,5 meses al año, se tendría un ingreso anual de:

INGRESO ANUAL = 1 893 772.455 dólares.

TOTAL DE EGRESOS:

- Sistema Turbina Triveni y Sistemas Anexos	: 4 035 217.20 dólares
- Sistema de automatización y reporte al COES	: 170 363.662 dólares
- Precio de la Turbina Triveni	: 2 500 000 dólares
- Precio de la L.T 60 KV	: 100 000.00 dólares
- Precio de Trafo 15 MVA – 60/13.8 KV	: 180 000.00 dólares
	-----
	6 985 580,862 dólares

Con lo que tenemos:

Para el cálculo de la relación Costo-Beneficio lo siguiente:

Se toma como Ingresos (Beneficios) y Egresos netos (Costos) presentes en el estado de resultados y determinar el Beneficio por cada dólar invertido en el proyecto.

Adicionalmente sirve como un indicador que mide el grado de desarrollo y bienestar que un proyecto puede generar a una comunidad.

Se establece la Relación entre:

VPN de los Ingresos y el VPN de los Egresos mediante la relación:

$$C/B = \text{VPN Ingresos} / \text{VPN Egresos}$$

En otras palabras:

$$C/B = Vp(b) - Vp(m \text{ y } o) / I \quad \text{donde:}$$

$Vp(b)$  es el valor presente de los beneficios (Ingresos anuales, por ejemplo)

$Vp(m \text{ y } o)$  es el valor presente del mantenimiento y operaciones de la Inversión (costos de producción anuales y mantenimiento por Ejemplo)

### **Inversión inicial**

Para nuestro Trabajo tenemos:

$$C/B = \text{VPN Ing} / \text{VPN Egre} \quad \text{Siendo:}$$

$$\text{VPN Ingreso Total de Ingreso Anual} = 7\,518\,974.55 \text{ dólares}$$

$$\text{VPN Egreso} = 6\,985\,580,862 \text{ dólares}$$

Reemplazando tenemos:

$$C/B = 7\,518\,974.55 / 6\,985\,580,862 = 1,0764 > 1$$

Lo que significa que los Ingresos Netos son mayores que los Egresos Netos.

Al ser mayor que 1, se dice que el proyecto es benéfico para la organización, ya que Ingresos/Beneficios son mayores que los Egresos/costos invertidos en el desarrollo del proyecto.

### 5.2.1.2 Determinación de la TIR y VAN

Flujo de Ingresos	
AÑO	VALOR
1	\$1,983,772.46
2	\$1,983,772.46
3	\$2,361,772.46
4	\$2,361,772.46
5	\$2,361,772.46
<b>TOTAL</b>	<b>\$11,052,862.28</b>

Tabla N° 18. Flujo de Ingresos

Fuente: Elaboración Propia

Flujo Egresos	
AÑO	VALOR
1	\$6,985,580.86
2	\$537,565.87
3	\$594,265.87
4	\$594,265.87
5	\$594,265.87
<b>TOTAL</b>	<b>\$9,305,917.94</b>

Tabla N° 19. Flujo de Egresos

Fuente: Elaboración Propia

Flujo de Efectivo Neto	
AÑO	VALOR
1	-\$5,001,808.41
2	\$1,446,206.59
3	\$1,767,506.59
4	\$1,767,506.59
5	\$1,767,506.59
<b>TOTAL</b>	<b>\$1,746,917.94</b>

Tabla N° 20. Flujo Efectivo Neto

Fuente: Elaboración Propia

<b>VAN</b>	\$6,704,800.19
<b>TIR</b>	15%
<b>PayBack</b>	4.01 Años

Tabla N° 21. Resultados

Fuente: Elaboración Propia

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

Del estudio realizado en el Ingenio y teniendo en cuenta que en una generación convencional se obtiene una eficiencia total de 60%, vs., con cogeneración donde se obtiene una eficiencia total del 75%.

Se concluye que de acuerdo al objetivo general de proponer un programa de adquisición e implementación del equipamiento para la cogeneración es beneficioso desde todo punto de vista.

Por otro lado, como para mejorar la eficiencia se ha determinado mejorarla en función de la demanda de vapor, se nos permite inferir que al aumentar la generación de vapor la eficiencia también se incrementará, más aún, habiendo adoptado aumentar la presión de generación de 20 a 30 bar, con lo que se consigue también disminuir el consumo específico del vapor.

Con la decisión de la adquisición del turbogenerador de 22,3 MW, la interconexión a la red Nacional, el suministro y reemplazo de las turbinas de vapor por motores eléctricos en el trapiche y en el accionamiento de las bombas de agua de alimentación a las calderas:

Estaremos consiguiendo con su implementación los objetivos específicos del aumento de la producción de azúcar por tonelada de caña; menor consumo

específico de vapor por KW/h y un aumento de la eficiencia de la planta según lo mencionado en el primer acápite.

Por otro lado, según la evaluación económica se determinó la bondad del proyecto al ser la relación  $C/B > 1$ .

Con este proyecto se consigue enviar el 100% del vapor generado producido en las calderas a la planta de fuerza para conseguir una máxima generación de energía eléctrica, para ser distribuida a toda la fábrica, a los motores de los pozos da agua del campo para regar la caña y además nos permitirá vender la energía excedente al SEIN.

Debemos agregar que en la propuesta planteada de la implementación de los equipos para la cogeneración se está considerando la adquisición y el montaje de equipos de moderna tecnología, lo que representa una ventaja desde el punto de vista de la operación ya que con los instrumentos modernas con que se suministra la turbina se pueden visualizar tanto las variables de operación como de carga, es decir se tiene un mejor control sobre el funcionamiento del equipo.

Por otro lado, se recomienda la instalación y el uso de los variadores de frecuencia en los motores eléctricos de los molinos y de los motores eléctricos de las bombas de agua de alimentación con lo que se obtendrá una reacción más rápida ante los cambios de carga ya que estos equipos son controlados electrónicamente.

## **6.2 Recomendaciones**

Se recomienda a la Empresa Agroindustrial Tumán S.A.A., incrementar el uso de la cogeneración de energía e incrementar también el uso de los variadores de frecuencia para todos los motores eléctricos, pues con el uso de estos equipos se ahorra energía eléctrica y se controla mejor la carga.

Se recomienda establecer programas de capacitación para el personal de la planta y también para el staff técnico, en lo que respecta a la cogeneración y eficiencia energética.

Se recomienda llevar un buen control de mantenimiento de los equipos instalados según las recomendaciones de los fabricantes tanto en los equipos eléctricos como en los mecánicos.

Se recomienda organizar una entidad que promueva e impulse el uso de los sistemas de cogeneración.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CIFUENTES JAIME. Sistema de Cogeneración en un Ingenio Azucarero. Cuba 2011.

GARCIA ANDRES Y LOPEZ LUIS. Optimización del sistema energético en un Ingenio Azucarero. Colombia 2010.

RIVAS JOSÉ Y TOBIAS RONAL MANUEL. Tesis de pregrado. Optimización del uso del vapor en la producción de azúcar y la Cogeneración eléctrica de un Ingenio azucarero. Universidad de San Carlos Guatemala.

LA COGENERACIÓN Y LA ENERGÍA PLUS, Universidad Nacional la Plata Argentina.

VILLARES MARTIN M. Cogeneración, Fundación Confemetal, Madrid 2000.

SALA LIZARRAGA J.M Cogeneración Aspectos Termodinámicos, Tecnológicos y Económicos. Servicio Editorial de la Universidad de País Vasco, Bilbao 1994.

AYNOS MAZA GERARDO. Gestión de Explotación y Mantenimiento de Plantas de Cogeneración 97 IFEMA, Madrid 1997.

FRANCISCO H. NÚÑEZ RAMÍREZ. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas, República Dominicana 2015.

SILVIO DE OLIVEIRA JR. Y LUIZ FELIPE PELLEGRINI. Plantas de cogeneración con caña de azúcar, Brasil 2010

RAMÓN M. MUJAL. Calculo de líneas y Redes Eléctricas, Barcelona 2002

WILLIAN D. STEVENSON. Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, EE.UU 1996.

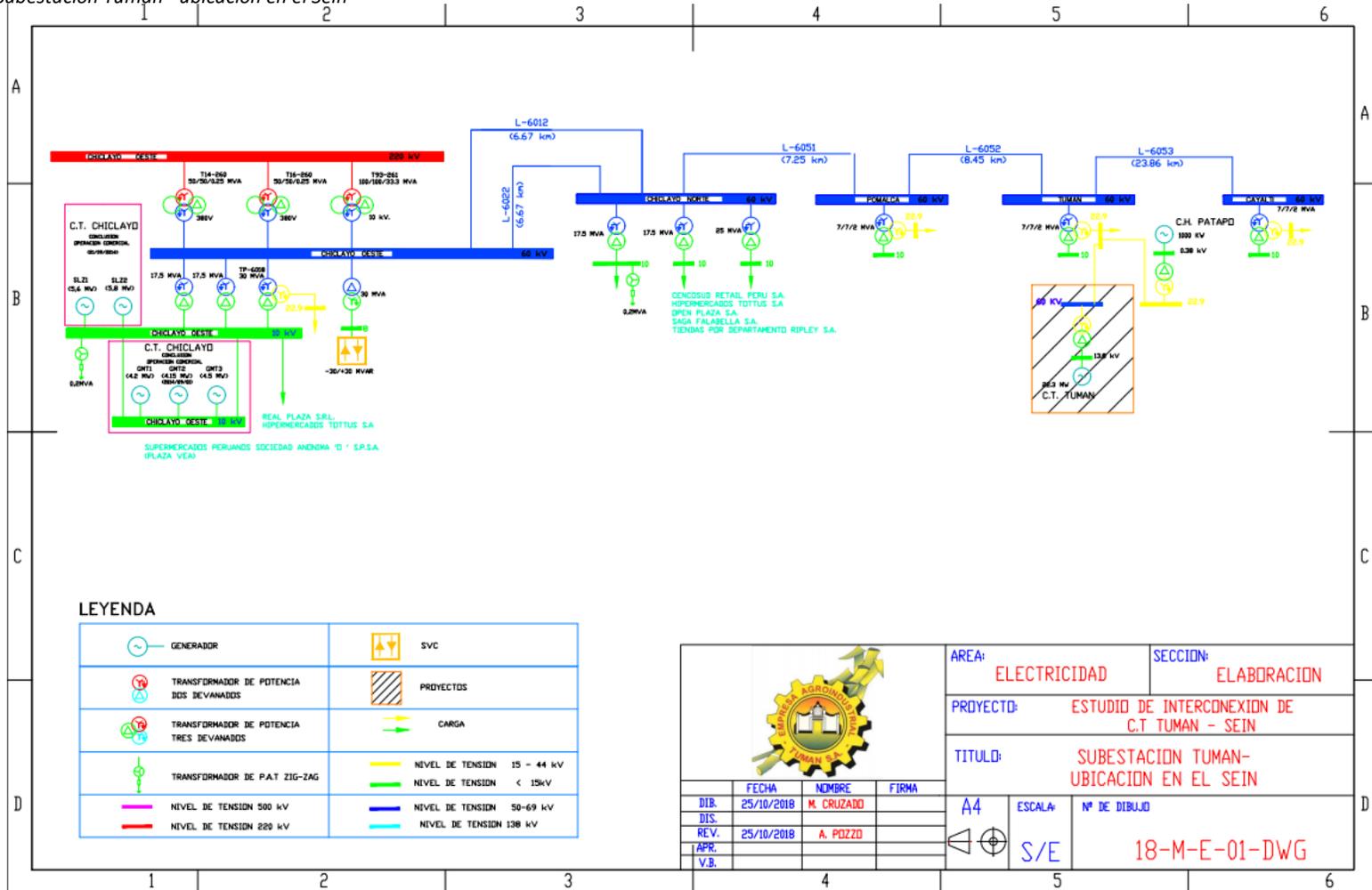
## LINKOGRAFIA

- <http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/GomezAM/cap4.pdf>
- <http://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables>
- <http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/regulacion-tarifaria/licitaciones-y-subastas>
- <https://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2018/03/13/el-futuro-del-sector-energetico-peruano/>
- <http://www.coes.org.pe/portal/>
- <http://www.coes.org.pe/Portal/integrantes/registrointegrantes>
- <http://www.coes.org.pe/Portal/Publicaciones/Estadisticas/>
- <https://www.gob.pe/minem>
- <http://www.cogeneramexico.org.mx/anexos/File/10-POTENCIAL-COMPETITIVO-COGEN.pdf>

# ANEXOS

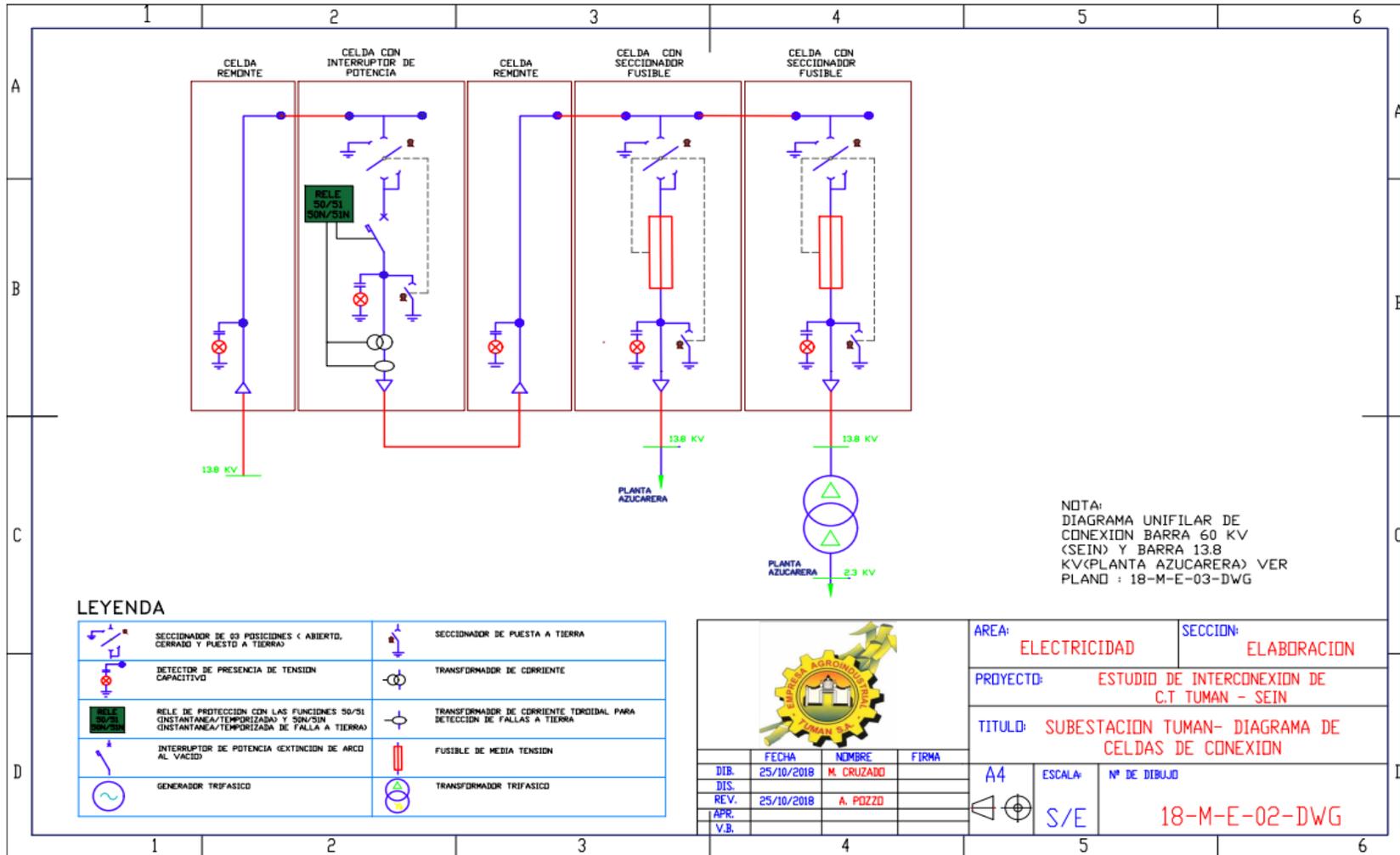
## Anexo 1

Subestación Tután - ubicación en el Sein



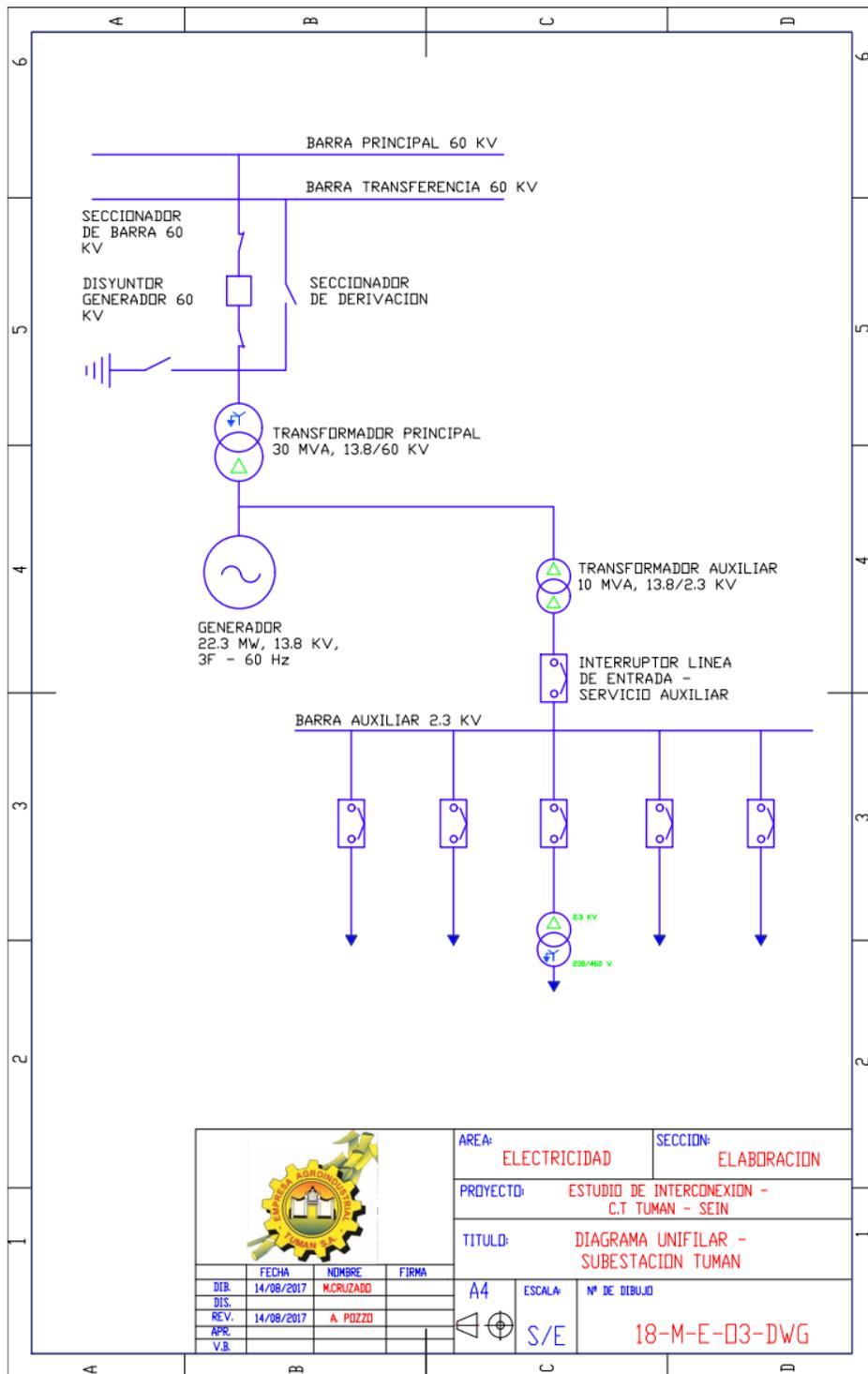
**Anexo 2**

*Subestación Tumán - diagrama de celdas de conexión*



**Anexo 3**

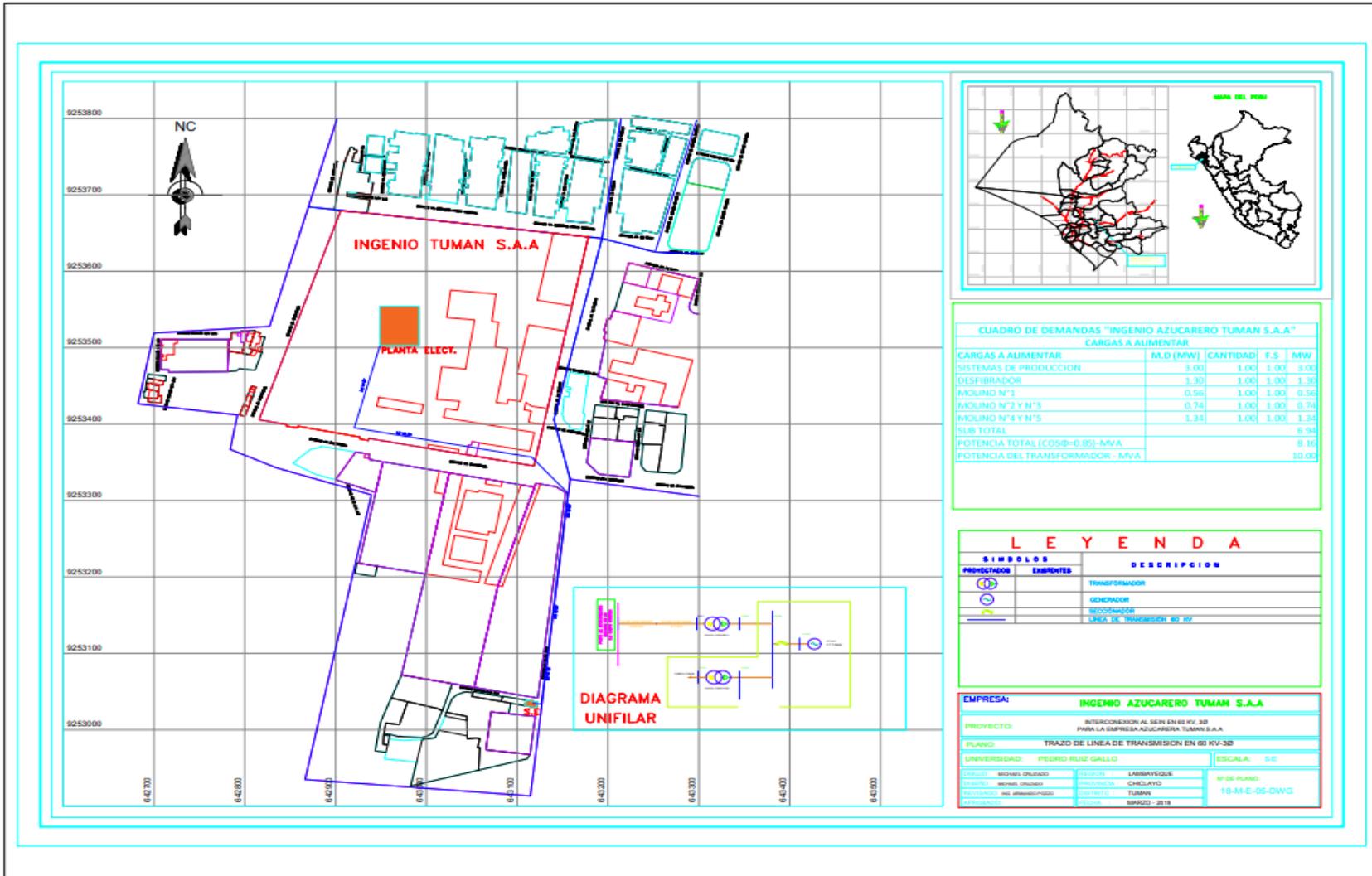
**Diagrama unifilar - subestación Tumán**



				AREA:	ELECTRICIDAD	SECCION:	ELABORACION	
				PROYECTO:	ESTUDIO DE INTERCONEXION - C.T TUMAN - SEIN			
				TITULO:	DIAGRAMA UNIFILAR - SUBESTACION TUMAN			
				DIB.	FECHA	NOMBRE	FIRMA	A4
DIS.	14/08/2017	M. CRUZADO			S/E	18-M-E-03-DWG		
REV.	14/08/2017	A. POZZO						
APR.								
V.B.								

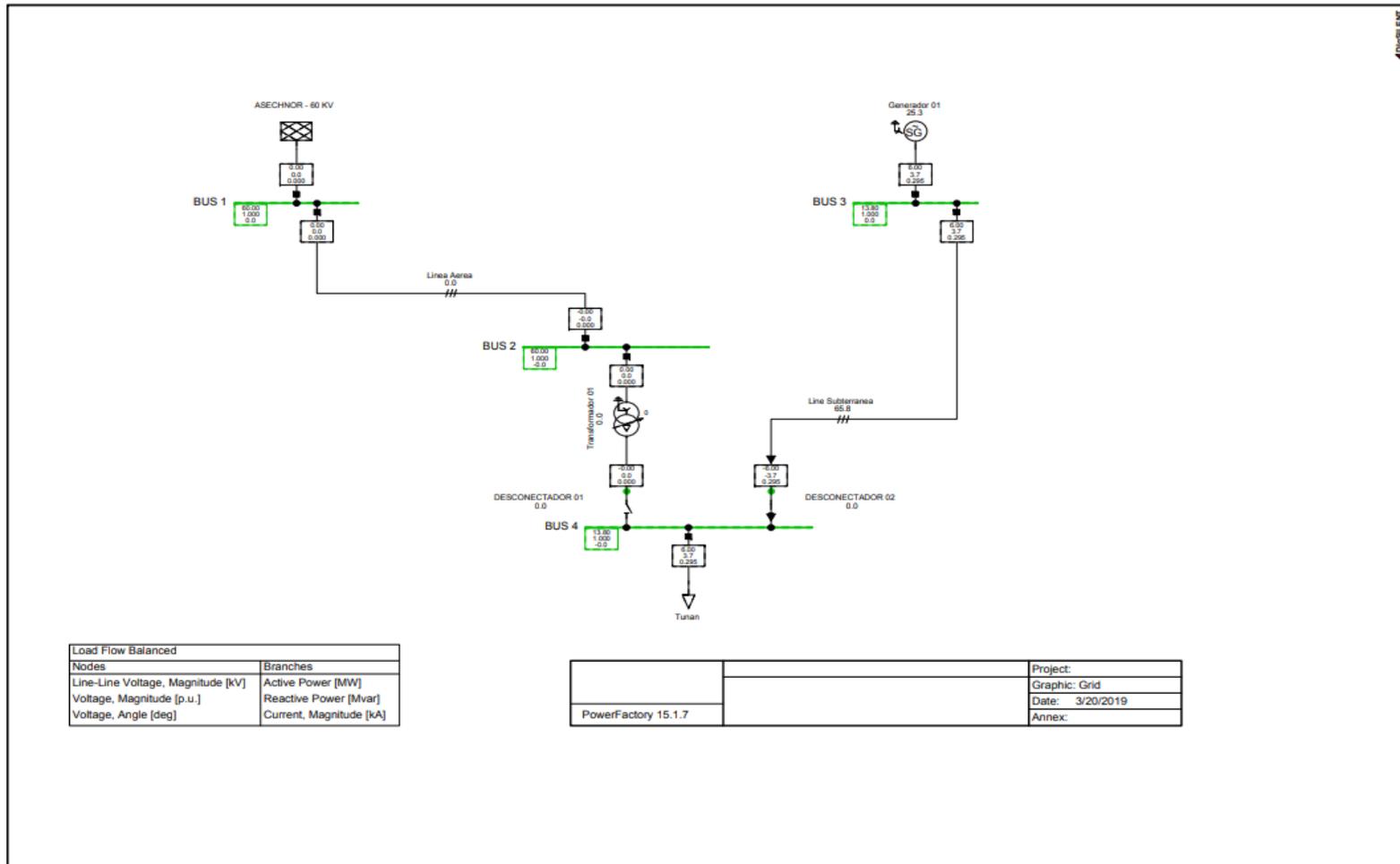
**Anexo 4**

Traza de línea de transmisión en 60 kv-3 $\phi$



**Anexo 5**

Análisis de interconexión con software digilent - inyectando del generador



**Anexo 6**

Análisis de interconexión con software digilent - inyectando del generador

		DigSILENT PowerFactory 15.1.7	Project: Date: 3/20/2019
--	--	-------------------------------------	-----------------------------

Load Flow Calculation		Complete System Report: Substations, Voltage Profiles, Grid Interchange	
AC Load Flow, balanced, positive sequence	Yes	Automatic Model Adaptation for Convergence	No
Automatic Tap Adjust of Transformers	No	Max. Acceptable Load Flow Error for Nodes	1.00 kVA
Consider Reactive Power Limits	No	Model Equations	0.10 %

Grid: Grid	System Stage: Grid	Study Case: Study Case	Annex: / 1						
rated Voltage [kV]	Bus-voltage [p.u.]	Bus-voltage [kV]	Phase [deg]	Active Power [MW]	Reactive Power [Mvar]	Power Factor [-]	Current [kA]	Loading [%]	Additional Data
BUS 1									
60.00	1.00	60.00	0.00						
Cub_1 /Xnet	ASECHNOR - 60 KV			0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	Sk": 10000.00 MVA
Cub_2 /Lne	Linea Aerea			0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	Pv: 0.00 kW cLod: -0.00 Mvar L: 1.00 km
BUS 2									
60.00	1.00	60.00	-0.00						
Cub_1 /Lne	Linea Aerea			-0.00	-0.00	-1.00	0.00	0.00	Pv: 0.00 kW cLod: -0.00 Mvar L: 1.00 km
Cub_2 /Tr2	Transformador 01			0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	Tap: 0.00 Min: -5 Max: 5
BUS 3									
13.80	1.00	13.80	0.00						
Cub_1 /Sym	Generador 01			6.00	3.72	0.85	0.30	25.33	Typ: PQ
Cub_2 /Lne	Line Subterranea			6.00	3.72	0.85	0.30	65.79	Pv: 1.62 kW cLod: -0.00 Mvar L: 0.05 km
BUS 4									
13.80	1.00	13.80	-0.00						
Cub_1 /Lod	Tunan			6.00	3.72	0.85	0.30		P10: 6.00 MW Q10: 3.72 Mvar
Cub_4 /Coup	DESCONECTADOR 01			0.00	-0.00	1.00	0.00	0.00	
Cub_5 /Coup	DESCONECTADOR 02			-6.00	-3.72	-0.85	0.30	0.00	

**Anexo 7**

Análisis de interconexión con software digsilent - inyectando del generador

		DIGSILENT PowerFactory 15.1.7		Project: Date: 3/20/2019	
Load Flow Calculation			Complete System Report: Substations, Voltage Profiles, Grid Interchange		
AC Load Flow, balanced, positive sequence		Automatic Model Adaptation for Convergence		No	
Automatic Tap Adjust of Transformers		Max. Acceptable Load Flow Error for		1.00 kVA	
Consider Reactive Power Limits		Nodes		0.10 %	
		Model Equations			
Grid: Grid		System Stage: Grid		Study Case: Study Case	
				Annex: / 2	
	rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.] [kV] [deg]		Voltage - Deviation [%]	
				-10	+10
				-5	0
BUS 1	60.00	1.000	60.00 0.00		
BUS 2	60.00	1.000	60.00 -0.00		
BUS 3	13.80	1.000	13.80 0.00		
BUS 4	13.80	1.000	13.80 -0.00		

**Anexo 8**

Análisis de interconexión con software digilent - inyectando del generador

		DigSILENT PowerFactory 15.1.7	Project:
			Date: 3/20/2019

Load Flow Calculation		Complete System Report: Substations, Voltage Profiles, Grid Interchange	
AC Load Flow, balanced, positive sequence		Automatic Model Adaptation for Convergence	No
Automatic Tap Adjust of Transformers	Yes	Max. Acceptable Load Flow Error for	
Consider Reactive Power Limits	No	Nodes	1.00 kVA
		Model Equations	0.10 %

Grid: Grid		System Stage: Grid				Study Case: Study Case		Annex: / 3		
Volt. Level [kV]	Generation [MW]/ [Mvar]	Motor Load [MW]/ [Mvar]	Load [MW]/ [Mvar]	Compen- sation [MW]/ [Mvar]	External Infeed [MW]/ [Mvar]	Interchange to	Power Interchange [MW]/ [Mvar]	Total Losses [MW]/ [Mvar]	Load Losses [MW]/ [Mvar]	Noload Losses [MW]/ [Mvar]
13.80	6.00 3.72	0.00 0.00	6.00 3.72	0.00 0.00	0.00 0.00			0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00
60.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00			0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00
<b>Total:</b>	6.00 3.72	0.00 0.00	6.00 3.72	0.00 0.00	0.00 0.00		0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00

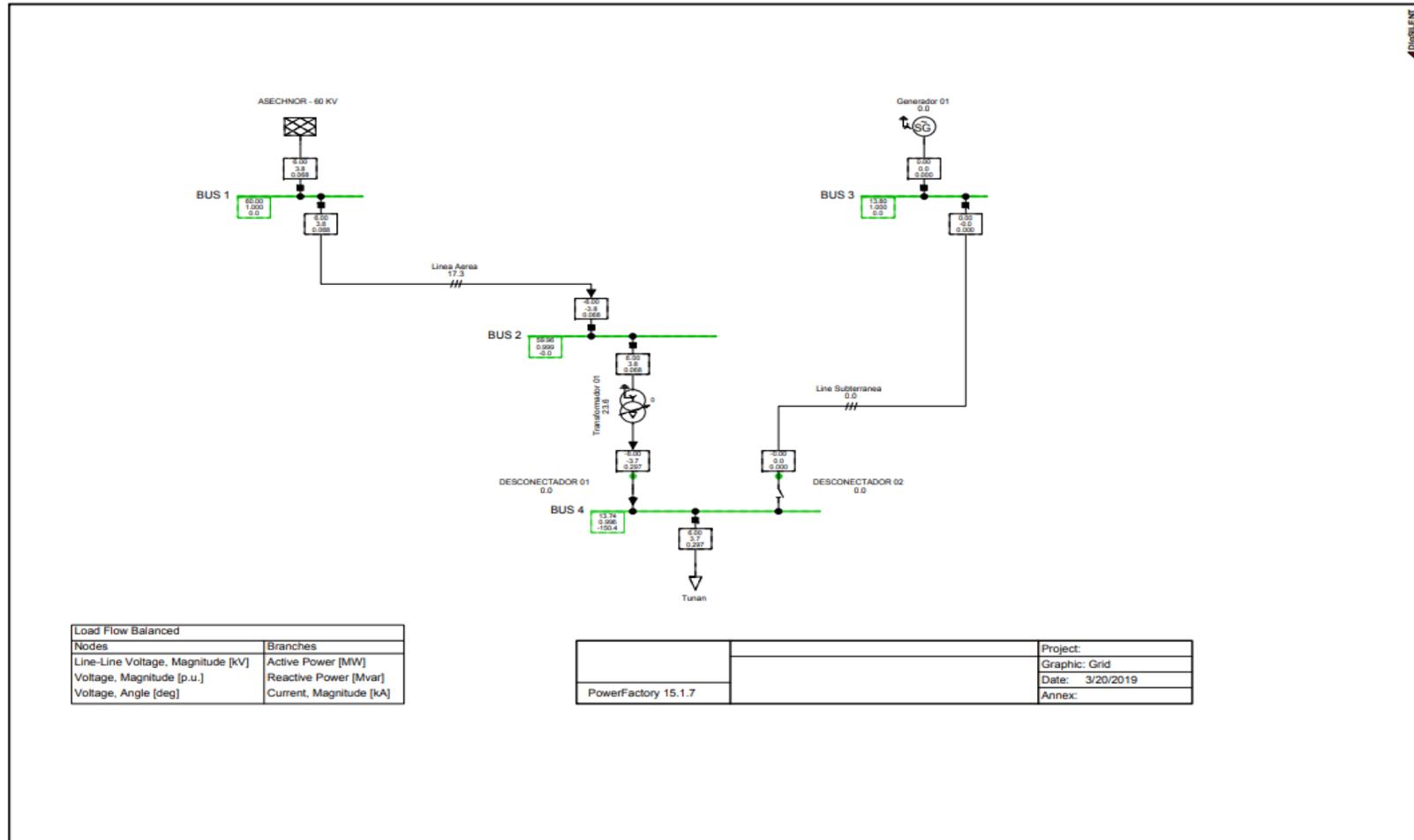
**Anexo 9**

Análisis de interconexión con software digsilent - inyectando del generador

		DigSILENT PowerFactory 15.1.7		Project: Date: 3/20/2019				
Load Flow Calculation			Complete System Report: Substations, Voltage Profiles, Grid Interchange					
AC Load Flow, balanced, positive sequence		Automatic Model Adaptation for Convergence		No				
Automatic Tap Adjust of Transformers		Max. Acceptable Load Flow Error for		1.00 kVA				
Consider Reactive Power Limits		Nodes		0.10 %				
		Model Equations						
Total System Summary			Study Case: Study Case		Annex: / 4			
Generation	Motor Load	Load	Compensation	External Infeed	Inter Area Flow	Total Losses	Load Losses	Noload Losses
[MW]/ [Mvar]	[MW]/ [Mvar]	[MW]/ [Mvar]	[MW]/ [Mvar]	[MW]/ [Mvar]	[MW]/ [Mvar]	[MW]/ [Mvar]	[MW]/ [Mvar]	[MW]/ [Mvar]
\Empezando con Digsilent\Proyecto Michael\Network Model\Network Data\Grid						0.00	0.00	0.00
6.00	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.72	0.00	3.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:						0.00	0.00	0.00
6.00	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.72	0.00	3.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Anexo 10**

Análisis de interconexión con software digsilent - inyectando de la red



**Anexo 11**

Análisis de interconexión con software digsilent - inyectando de la red

		DigSILENT PowerFactory 15.1.7	Project: Date: 3/20/2019
--	--	-------------------------------------	-----------------------------

Load Flow Calculation		Complete System Report: Substations, Voltage Profiles, Grid Interchange	
AC Load Flow, balanced, positive sequence		Automatic Model Adaptation for Convergence	No
Automatic Tap Adjust of Transformers	Yes	Max. Acceptable Load Flow Error for Nodes	1.00 kVA
Consider Reactive Power Limits	No	Model Equations	0.10 %

Grid: Grid	System Stage: Grid	Study Case: Study Case	Annex: / 1
------------	--------------------	------------------------	------------

	rated Voltage [kV]	Bus-voltage [p.u.]	Bus-voltage [kV]	Bus-voltage [deg]	Active Power [MW]	Reactive Power [Mvar]	Power Factor [-]	Current [kA]	Loading [%]	Additional Data
BUS 1										
Cub_1 /Xnet	60.00	1.00	60.00	0.00						Sk": 10000.00 MVA
Cub_2 /Lne			ASECHNOR - 60 KV		6.00	3.77	0.85	0.07	17.27	Pv: 3.74 kW cLod: -0.00 Mvar L: 1.00 km
			Linea Aerea		6.00	3.77	0.85	0.07	17.27	
BUS 2										
Cub_1 /Lne	60.00	1.00	59.96	-0.01	-6.00	-3.77	-0.85	0.07	17.27	Pv: 3.74 kW cLod: -0.00 Mvar L: 1.00 km
Cub_2 /Tr2			Linea Aerea		6.00	3.77	0.85	0.07	23.64	Tap: 0.00 Min: -5 Max: 5
			Transformador 01							
BUS 3										
Cub_1 /Sym	13.80	1.00	13.80	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	Typ: PQ
Cub_2 /Lne			Generador 01		0.00	-0.00	1.00	0.00	0.00	Pv: 0.00 kW cLod: -0.00 Mvar L: 0.05 km
			Line Subterranea							
BUS 4										
Cub_1 /Lod	13.80	1.00	13.74	-150.36	6.00	3.72	0.85	0.30		P10: 6.00 MW Q10: 3.72 Mvar
Cub_4 /Coup			Tunan		-6.00	-3.72	-0.85	0.30	0.00	
Cub_5 /Coup			DESCONECTADOR 01		-0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	
			DESCONECTADOR 02							

**Anexo 12**

Análisis de interconexión con software digilent - inyectando de la red

		DigSILENT PowerFactory 15.1.7		Project:	
				Date: 3/20/2019	
Load Flow Calculation			Complete System Report: Substations, Voltage Profiles, Grid Interchange		
AC Load Flow, balanced, positive sequence		Automatic Model Adaptation for Convergence		No	
Automatic Tap Adjust of Transformers		Max. Acceptable Load Flow Error for		1.00 kVA	
Consider Reactive Power Limits		Nodes		0.10 %	
		Model Equations			
Grid: Grid		System Stage: Grid		Study Case: Study Case	
				Annex: / 2	
	rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.] [kV] [deg]		Voltage - Deviation [%]	
				-10	-5
				0	+5
					+10
BUS 1	60.00	1.000	60.00 0.00		
BUS 2	60.00	0.999	59.96 -0.01		
BUS 3	13.80	1.000	13.80 0.00		
BUS 4	13.80	0.996	13.74-150.36		■

**Anexo 13**

Análisis de interconexión con software digsilent - inyectando de la red

		DigSILENT PowerFactory 15.1.7	Project:
			Date: 3/20/2019

Load Flow Calculation		Complete System Report: Substations, Voltage Profiles, Grid Interchange	
AC Load Flow, balanced, positive sequence		Automatic Model Adaptation for Convergence	No
Automatic Tap Adjust of Transformers	Yes	Max. Acceptable Load Flow Error for	
Consider Reactive Power Limits	No	Nodes	1.00 kVA
		Model Equations	0.10 %

Grid: Grid		System Stage: Grid				Study Case: Study Case			Annex: / 3	
Volt. Level	Generation [MW]/ [Mvar]	Motor Load [MW]/ [Mvar]	Load [MW]/ [Mvar]	Compensation [MW]/ [Mvar]	External Infeed [MW]/ [Mvar]	Interchange to	Power Interchange [MW]/ [Mvar]	Total Losses [MW]/ [Mvar]	Load Losses [MW]/ [Mvar]	No-load Losses [MW]/ [Mvar]
13.80	0.00 0.00	0.00 0.00	6.00 3.72	0.00 0.00	0.00 0.00	60.00 kV	-6.00 -3.72	0.00 0.00 0.05	0.00 0.00 0.05	0.00 0.00 0.00
60.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	6.00 3.77	13.80 kV	6.00 3.77	0.00 0.00 0.05	0.00 0.00 0.05	0.00 0.00 0.00
Total:	0.00 0.00	0.00 0.00	6.00 3.72	0.00 0.00	6.00 3.77		0.00 0.00	0.00 0.05	0.00 0.05	0.00 0.00

**Anexo 14**

Análisis de interconexión con software digsilent - inyectando de la red

		DigSILENT PowerFactory 15.1.7		Project: Date: 3/20/2019				
Load Flow Calculation			Complete System Report: Substations, Voltage Profiles, Grid Interchange					
AC Load Flow, balanced, positive sequence		Automatic Model Adaptation for Convergence		No				
Automatic Tap Adjust of Transformers		Max. Acceptable Load Flow Error for		1.00 kVA				
Consider Reactive Power Limits		Nodes		0.10 %				
		Model Equations						
Total System Summary			Study Case: Study Case		Annex: / 4			
Generation	Motor Load	Load	Compensation	External Infeed	Inter Area Flow	Total Losses	Load Losses	No-load Losses
[MW]/ [Mvar]	[MW]/ [Mvar]	[MW]/ [Mvar]	[MW]/ [Mvar]	[MW]/ [Mvar]	[MW]/ [Mvar]	[MW]/ [Mvar]	[MW]/ [Mvar]	[MW]/ [Mvar]
\Empezando con Digsilent\Proyecto Michael\Network Model\Network Data\Grid						0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	6.00	0.00	6.00	0.00	0.05	0.05	0.00
0.00	0.00	3.72	0.00	3.77				
Total:						0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	6.00	0.00	6.00		0.05	0.05	0.00
0.00	0.00	3.72	0.00	3.77				