



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UN INGENIO
AZUCARERO MEDIANTE LA EVALUACION TECNICO-ECONOMICA DE INSTALAR UN
TURBOGENERADOR EXTRACCION-CONDENSACION**

Luis Rene Vidal Zenteno

Asesorado por MSc. Ing. Renaldo Girón Alvarado

Guatemala, agosto de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UN INGENIO
AZUCARERO MEDIANTE LA EVALUACION TECNICO-ECONOMICA DE INSTALAR UN
TURBOGENERADOR EXTRACCION-CONDENSACION**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS RENE VIDAL ZENTENO

ASESORADO POR MSC. ING. RENALDO GIRON ALVARADO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE INVESTIGACION PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UN INGENIO
AZUCARERO MEDIANTE LA EVALUACION TECNICO-ECONOMICA DE INSTALAR UN
TURBOGENERADOR EXTRACCION-CONDENSACION**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 19 de febrero de 2019.

Luis René Vidal Zenteno

Ref. EEPFI-0618-2021
Guatemala, 08 de junio de 2021

Director
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UNA PLANTA TÉRMICA DE UN INGENIO AZUCARERO MEDIANTE LA EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICO DE INSTALAR UN TURBOGENERADOR CON TECNOLOGÍA EXTRACCIÓN- CONDENSACIÓN**, presentado por el estudiante **Luis Rene Vidal Zenteno** carné número **201123088**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Gestión Industrial.


Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

"Id y Enseñad a Todos"


Renaldo Girón Alvarado
Ingeniero Industrial
Colegiado No. 5977

Mtro. Renaldo Girón Alvarado
Asesor




Mtro. Kenneth Lubeck Corado Esquivel
Coordinador de Gestión Industrial
Escuintla


Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-016-2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UNA PLANTA TÉRMICA DE UN INGENIO AZUCARERO MEDIANTE LA EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICO DE INSTALAR UN TURBOGENERADOR CON TECNOLOGÍA EXTRACCIÓN-CONDENSACIÓN**, presentado por el estudiante universitario **Luis Rene Vidal Zenteno**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Guatemala, junio de 2021



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

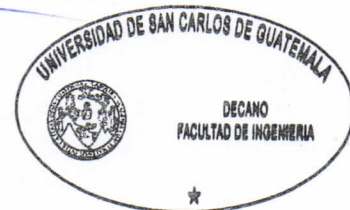
Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102

DTG. 344-2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UN INGENIO AZUCARERO MEDIANTE LA EVALUACION TECNICO-ECONOMICA DE INSTALAR UN TURBOGENERADOR EXTRACCION-CONDENSACION**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Rene Vidal Zenteno**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, agosto de 2021

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por brindarme una segunda oportunidad de vida y ser una importante influencia en el transcurso de mi vida universitaria.
Mis padres	Por su amor, comprensión, apoyo incondicional y por ser el pilar fundamental en el cumplimiento de esta meta.
Mis hermanos	Ricardo, Francisco, Amandy y Hector Vidal, por su cariño y apoyo.
Mi esposa	Marianela Flores, por su amor, apoyo y motivación en el transcurso de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que me brindó el conocimiento para ser un profesional.
Facultad de Ingeniería	Por la enseñanza transmitida a lo largo de mi carrera.
Mis amigos	Rafael de León y Gerson Córdón. Por su apoyo y consejos en el transcurso de toda mi vida universitaria.
Mi asesor	MSc. Ing. Renaldo Girón, por su amistad y apoyo incondicional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	11
5.1. General	11
5.2. Específicos	11
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	13
7. MARCO TEÓRICO	15
7.1. Energía térmica en la industria azucarera	15
7.1.1. Plantas de cogeneración	15
7.1.2. Equipos de plantas de cogeneración en un ingenio azucarero	16

	7.1.2.1.	Equipo de generación de vapor (calderas).....	16
	7.1.2.2.	Equipo de generación de energía turbogenerador.....	16
	7.1.3.	Conversión de la energía térmica a energía eléctrica.....	17
7.2.		Eficiencia de centrales de cogeneración	17
	7.2.1.	Factores que influyen en la eficiencia de centrales térmicas	17
	7.2.2.	Consumo específico	18
	7.2.3.	Combustión.....	18
7.3.		Aspectos que influye en la productividad en una planta cogeneradora.....	18
	7.3.1.	Costos de operación.....	19
	7.3.2.	Equipos con alta eficiencia	19
	7.3.3.	Equipos ineficientes.....	19
7.4.		Turbinas de vapor	19
	7.4.1.	Turbinas de contrapresión.....	20
	7.4.2.	Turbinas de condensación	20
	7.4.3.	Turbinas combinadas (extracción - condensación)	20
8.		PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	23
9.		METODOLOGÍA	27
	9.1.	Características del estudio	27
	9.2.	Unidades de análisis.....	28
	9.3.	Variables	28
	9.4.	Fases del estudio.....	29

9.4.1.	Fase 1: revisión de literatura.	30
9.4.2.	Fase 2: evaluación de la situación actual de la operación y recolección de información.	30
9.4.3.	Fase 3: análisis de información	30
9.4.4.	Fase 4: análisis de costos	31
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS.....	33
11.	CRONOGRAMA.....	35
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	37
13.	REFERENCIAS.....	39

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Cronograma de actividades..... 35

TABLAS

- I. Esquema de solución..... 14
II. Tabla de variables en análisis..... 29
III. Presupuesto elaboración de proyecto 37

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CE	Consumo específico
\$	Dólar estadounidense
Hz	Hercio
h	Horas
Klb	Killibras
Kw	Kilovatio
KV	Kilovoltio
lb/kw	Libras de vapor sobre kilovatio
>	Mayor que
MWh	Megavatio hora
MW	Megavatio
%	Porcentaje
P	Potencia
Q	Quetzales
RPM	Revoluciones por minuto
Tm/kw	Toneladas métricas de vapor sobre kilovatio
Tm	Toneladas métricas

GLOSARIO

AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
Casa de máquinas	Infraestructura en donde se encuentra la o las turbinas de una central térmica.
Energía cinética	Energía debida a un movimiento determinado.
Energía potencial	Energía que contiene el agua debido a la altura y es aprovechable para generar electricidad a partir de la misma.
SNI	Sistema Nacional Interconectado.
Spot	Costo del MWh en Guatemala.
Turbina condensación	Maquina rotativa que agota la energía cinética del vapor por debajo de la presión atmosférica hasta convertir el vapor en agua.
Turbina extracción	Maquina rotativa que agota la energía cinética del vapor hasta una presión deseada.
Turbogenerador	Conjunto acoplado de una turbina y un generador eléctrico.

RESUMEN

Con el pasar de los años se sabe que las tecnologías en turbogeneradores han crecido exponencialmente, por lo que muchos de los ingenios azucareros en Guatemala han ido actualizando sus turbogeneradores, ya que estos cuentan con una mejor eficiencia. Un estudio técnico económico es la base para saber si es rentable la adquisición de un turbogenerador con tecnología extracción condensación, esto bien dando una perspectiva de la mejora de la productividad dentro de la planta de generación.

Estudios realizados con anterioridad han demostrado que una forma de aumentar la productividad de cualquier tipo de proceso se puede lograr invirtiendo en maquinaria eficiente, reducción de personal y aumentando de unidades de producción, siendo esta la más importante.

El presente diseño de investigación examinara sobre un estudio técnico-económico de adquirir un conjunto turbogenerador extracción condensación, el cual busca mejorar la productividad de la planta de generación de un ingenio azucarero.

1. INTRODUCCIÓN

El ingenio azucarero en estudio ubicado en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa cuenta con tecnología que bien podría calificarse como obsoleta; siendo dicha obsolescencia acentuada por la baja eficiencia de estos equipos, siendo estos los equipos de generación de energía (turbogeneradores). Por lo anterior, actualmente se ha determinado de manera oficial la condición de ineficiencia en el área de generación de energía de la ya mencionada unidad productiva.

La automatización de procesos ha significado incrementos en la productividad y la disminución de costos gracias a la innovación tecnológica. Siguiendo esta línea, se realiza el presente estudio en la línea de investigación de Innovación, en específico ahondando en la relación Tecnología-Productividad. Por ende, el presente documento tiene como finalidad formular una propuesta técnica para evaluar la viabilidad de la adquisición de un turbogenerador extracción-condensación y demostrar cómo el incremento de la productividad justifica la inversión.

El aumento de la productividad quedará formalmente respaldado gracias a la evaluación propuesta, así como se podrá tener una mayor claridad acerca de las especificaciones y requerimientos de los equipos modernos que existen. Los factores clave de éxito (FCE) determinarán la manera en la que se reestructurarán los puestos de trabajo debido a actualización de turbogeneradores.

El diseño de este estudio se considera factible, debido a que se hará comparativa de especificaciones de los equipos con los que cuenta la empresa y las nuevas tecnologías. Así mismo a lo largo del trabajo se encontrará una breve introducción a la cogeneración de energía en el sector agroindustrial; como también la elaboración de estudio técnico-económico y la propuesta para mejorar la productividad.

2. ANTECEDENTES

Velásquez (2015) investigó en su trabajo de graduación de la Escuela de Mecánica de la Facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala que la instalación de un turbogenerador nuevo es la forma de garantizar la nueva matriz energética, y así mismo garantizar que por un largo tiempo la empresa continúe sus operaciones de una forma eficiente. Concluye que con la puesta en marcha de la unidad nueva podrá sacar de operación dos turbogeneradores de menor capacidad y aprovechar el vapor de estos con el nuevo generador.

La siguiente investigación realizada por Chitay (2015) cuyo tema es, *Automatización de un turbogenerador de escape de 4MW, en un ingenio azucarero* tiene como objetivo principal elaborar un estudio técnico-económico para la automatización de un turbogenerador el cual pretende dar una visión a futuro del retorno de la inversión. Por lo que concluye: que invertir en automatizar el turbogenerador se paga en menos de una zafra.

La cogeneración en la industria guatemalteca ha tenido gran crecimiento en los últimos años, por lo que Xiloj (2015) propone una solución técnica- económica para el aprovechamiento del vapor de una manera más eficiente mediante el crecimiento de la generación, por lo que concluye que con la ampliación de la planta de generación se lograra una operación más confiable y continua.

Otra investigación de mucha utilidad es el trabajo de graduación de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala realizado por Ramírez (2018) el cual tiene como

objetivo principal evaluar los efectos técnicos y económico que provoca la introducción de energías renovables no convencional al Sistema Nacional Interconectado de Guatemala, quien logró determinar que la generación con energía renovable no convencionales reduce el costo de generación de energía eléctrica y evita el uso de combustibles fósiles.

Barrios (2016) en su tesis de licenciatura titulada *Montaje y puesta en funcionamiento de una unidad de generación eléctrica de 46 MW por medio de biomasa en el ingenio Palo Gordo*, investigación que tiene por objetivo la sistematización de la experiencia del montaje de una unidad de generación de 46 MW. La investigación surge debido a que desafortunadamente no existe dentro de la empresa personal técnico con la experiencia necesaria para realizar esta labor, por lo que propone un guía del diseño, el montaje y la realización de las pruebas y consideraciones necesarias para poner en marcha la unidad generadora.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Contexto general

Con el pasar de los años se ha observado que existe baja productividad en la operación de una planta generadora de un ingenio azucarero en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, esto quiere decir que no se aprovecha al máximo la energía térmica que es convertida en energía eléctrica, así mismo un costo de operación encarecido.

- Descripción del problema

Actualmente el sistema energético del ingenio en estudio ubicado en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa tiene baja productividad en el proceso de generación de energía eléctrica, debido a que cuenta con turbogeneradores que carece de tecnología de punta.

El contar con equipo antiguo o dicho de otro modo clasificado como obsoletos, hace tener personal operativo controlando cada unidad productiva, así también no se cuenta con los procedimientos de operación actualizados o en su defecto no existen, esto conlleva a que se requiera de un alto número de personal operativo debido a que todos los mecanismos son manuales. Las causas mencionadas con anterioridad provocan problemas los cuales son: desaprovechamiento de la energía térmica y mala operación, esto trae como consecuencia altas pérdidas de energía, baja productividad de la planta y por consecuente alto costo de generación de energía eléctrica.

- Formulación del problema

Para el presente diseño de investigación se formularon las siguientes preguntas de investigación

- Pregunta central

¿Es factible desarrollar una propuesta técnica para mejorar la productividad de una planta generadora mediante la adquisición de un turbogenerador extracción-condensación en un ingenio azucarero?

- Preguntas auxiliares

- ¿Cuáles son las especificaciones y requerimientos que se deben de proponer para adquirir equipos de generación de energía modernos?
- ¿Cuáles son los factores clave de éxito que ayuden a reducir el personal operativo?
- ¿Qué normativa se puede analizar para que exista un procedimiento de operación?

- Delimitación del problema

La investigación mencionada a lo largo de este informe se realizará en una empresa agroindustrial, la cual sus principales actividades económicas son: la producción de edulcorantes y la generación de energía eléctrica. El desarrollo de la investigación se realizará en el área de generación de energía la cual es una

de las grandes áreas de producción de la industria en estudio. Dicha empresa se encuentra ubicada en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa del departamento de Escuintla. La investigación se realizará en los meses de enero a diciembre de 2021.

4. JUSTIFICACIÓN

La investigación propuesta se justifica en la línea de investigación de innovación la cual relaciona tecnología-productividad. El estudio técnico-económico podrá evidenciar la viabilidad de la instalación de un turbogenerador con tecnología extracción-condensación; teniendo en cuenta como primer criterio de dicha viabilidad, el ahorro o mejora en la estructura de costos para la empresa.

La formulación sugerida, consiste básicamente en contar con tecnología moderna para aprovechar al máximo la energía térmica. Una de las consecuencias directas, será el aumento de la eficiencia y productividad de la planta de generación, y esta podrá evidenciarse de manera formal en el presente estudio.

Asimismo, la evaluación del proyecto demostrará el beneficio directo de reducir los costos que implica el alto número de personal de operación que se tiene para los procesos ya mencionados (generación de energía). Por la tecnología a sugerirse, se tendrá un mayor grado de automatización, y se requerirá de menor personal operativo ya que se tendrían menos turbogeneradores en línea.

Para garantizar que la ejecución del proyecto mejore la eficiencia, se necesitará capacitar al personal ya existente, enfocándose en mantener la actualización de los procedimientos de operación de la planta de esta manera, la reducción de personal previamente enunciada depurará al equipo de trabajo hasta llevarlo a la excelencia operacional.

Poner en práctica las habilidades y conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la Maestría en Gestión Industrial, de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, determina la relevancia de este proyecto; fortalecer uno de los motores económicos (sector azúcar) más grandes que mueven nuestro país.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar una propuesta para mejorar la productividad de una planta térmica de un ingenio azucarero mediante la instalación de un turbogenerador con tecnología extracción – condensación

5.2. Específicos

- Proponer especificaciones y requerimientos para adquirir equipos de generación de energía modernos
- Identificar los indicadores clave de éxito que ayuden a reducir el personal operativo.
- Analizar una normativa para actualizar los procedimientos de operación.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Debido a que la planta de generación de energía tiene equipos obsoletos, alto número de personal y desactualización de procedimientos de operación, se busca dar solución a la baja productividad de la planta de generación de energía, lo cual se logra evaluando la adquisición de equipo de generación extracción-condensación, reduciendo el número de personal y actualizando los procedimientos de operación, lo cual provoca pérdidas económicas para la empresa, se utilizará una evaluación técnico económica la cual servirá para determinar si es factible la adquisición de un turbogenerador con la tecnología mencionada con anterioridad.

Las necesidades que la investigación cubrirá dentro de la empresa son: Consultar fichas técnicas de turbogeneradores modernos, realizar *benchmarking* con otras industrias similares, realizar cotización para la evaluación económica, indagar sobre la FCE, reestructuración de los puestos de trabajo, revisión y análisis de puestos de trabajo, identificar normativas existentes de generación de energía, realizar flujograma, redactar procedimientos de operación, revisar y validar los procedimientos de operación.

A continuación, se presenta el esquema de soluciones en la siguiente tabla:

Tabla I. **Esquema de solución**

Resultados	Necesidades por cubrir	Indicadores	Metodología
Especificaciones y requerimientos Equipos modernos	Consultar fichas técnicas de turbogeneradores modernos. Realizar cotizaciones Realizar Propuesta	Especificaciones y requerimientos identificados en tres meses. Turbogeneradores con eficiencia debajo de 9 Tn/kw.	Análisis estadístico de históricos de parámetros de vapor y energía
FCE	Indagar sobre FCE. Reestructuración de puestos de trabajo. Revisión y análisis de puestos de trabajo.	FCE identificados en 4 meses. Análisis puestos en 6 meses	Técnicas FCE Análisis de Pareto. Análisis estadístico.
Procedimiento de operación.	Realizar flujograma. Redactar procedimientos. Revisar y validar procedimientos	Procedimiento elaborado y validado en 5 meses	Diagrama causa-efecto. Norma ASME. Taller lluvia de ideas.

Fuente. elaboración propia`.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Energía térmica en la industria azucarera

La energía térmica en la industria azucarera es de suma importancia. El aprovechamiento de la energía térmica tiene como beneficio directo la generación de energía eléctrica, que se obtiene gracias a la intervención de recursos humanos, equipos y financieros. Por lo tanto, es imperativo su uso eficiente.

7.1.1. Plantas de cogeneración

Existen varias definiciones de cogeneración, Muñoz y Rovira (2014) señalan que:

La cogeneración es la producción conjunta de energía térmica y mecánica; energía térmica aprovechable en forma de gases o líquidos calientes y energía mecánica que se puede utilizar directamente para accionamiento mecánico pero que en la mayoría de los casos se convierte en energía eléctrica mediante un alternador. (p. 41)

Para este trabajo se definirá a la cogeneración como el proceso en el cual se obtiene energía eléctrica y energía térmica útil para otro proceso. Este proceso es utilizado en la mayoría de ingenios azucareros en Guatemala.

7.1.2. Equipos de plantas de cogeneración en un ingenio azucarero

Los dos grandes equipos de una planta de cogeneración son las calderas y turbogeneradores. En la industria azucarera cuentan con los equipos antes mencionados, cada ingenio con distintos tipos y especificaciones. Existen equipos auxiliares que son importantes para la operación, pero las calderas y turbogeneradores son los encargados de la producción de energía.

7.1.2.1. Equipo de generación de vapor (calderas)

Las calderas son el alma y corazón de un ingenio azucarero. “Una caldera es un dispositivo para generar vapor en procesos industriales, calefacción, para uso general o para generación de energía eléctrica”. (Xiloj, 2015, p. 20) En la práctica, una caldera es un equipo que, mediante la transferencia de calor, convierte el agua en vapor y este es conducido por tuberías para el uso del mismo según sea la aplicación del proceso.

7.1.2.2. Equipo de generación de energía turbogenerador

El término turbogenerador es muy utilizado en la industria azucarera. Turbogenerador es el conjunto turbina - generador el cual es el encargado de convertir la energía cinética del vapor producido por una caldera en energía mecánica que a su vez es convertida en energía eléctrica con un alternador. Se puede definir dos tipos de turbogeneradores en la industria azucarera los cuales son: turbogeneradores de condensación y contrapresión.

7.1.3. Conversión de la energía térmica a energía eléctrica

La energía térmica es primordial en la industria azucarera. Para analizar el ciclo de conversión de energía térmica a energía eléctrica, es necesario conocer las causantes de este efecto, para lo cual se denominará fuente de energía térmica a una caldera y fuente de energía eléctrica a un generador. Una caldera es la que provee energía térmica, esta energía térmica se denominara como vapor, el cual se conduce a través de tuberías hacia una turbina de vapor, esta misma es la encargada de convertir la energía cinética del vapor en un movimiento mecánico rotativo de la turbina, la cual está acoplada a un generador el cual es el encargado de generar energía eléctrica, según sus características de construcción.

7.2. Eficiencia de centrales de cogeneración

La eficiencia es parte fundamental para que las centrales de generación trabajen de forma óptima. La eficiencia es un dato numérico que da a conocer la capacidad de realizar un trabajo adecuadamente. Para este estudio se analizará la eficiencia de las turbinas de vapor, para lo cual dicha eficiencia es medida como la relación entre la energía total generada partido el consumo de vapor de la turbina.

7.2.1. Factores que influyen en la eficiencia de centrales térmicas

El consumo específico de las turbinas y la combustión en calderas son los factores más influyentes en una central de cogeneración. Se sabe que cada máquina o equipo cuenta con su propia eficiencia con la que fue construida y diseñada, pero con el pasar de los años los diseños de las máquinas han ido

mejorando. En este estudio se analizará y comparará las eficiencias de las unidades turbogeneradoras actuales con las que cuentan la empresa y las nuevas tecnologías que existen en el mercado.

7.2.2. Consumo específico

Es un dato de suma importancia dado por el fabricante de turbinas de vapor. Con este dato se puede saber de cómo se aprovechamiento de la energía cinética del vapor en un turbogenerador, para ser transformada en energía eléctrica.

7.2.3. Combustión

“La combustión es la receta de como quemar un combustible en una caldera. La combustión es el término técnico para la reacción química del oxígeno con los componentes de los combustibles, incluyendo la emisión de energía”. (Muñoz, 2015, p. 11).La combustion en una caldera en fundamental para determinar su eficiencia

7.3. Aspectos que influye en la productividad en una planta cogeneradora

La productividad es un parámetro fundamental para saber si se están haciendo bien las cosas dentro de una empresa. Es la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción o servicios y los recursos para obtenerla. En términos generales la productividad es crear más bienes con menos recursos. A continuación, se presentan los aspectos más relevantes que afectan la productividad.

7.3.1. Costos de operación

Son aquellos que son inherentes para que se pueda producir un bien o servicio. Los costos de operación es un aspecto que influye directamente con la productividad. Reducir los costos de operación es una ventaja competitiva para dar rentabilidad a la empresa

7.3.2. Equipos con alta eficiencia

Contar con equipo con alta eficiencia influye en la productividad. Una alta eficiencia para una turbina de vapor es aquella que va a poder transferir su energía mecánica con un menor consumo de vapor. Se puede aumentar la productividad teniendo equipos con alta eficiencia.

7.3.3. Equipos ineficientes

Serán equipos ineficientes aquellos que su eficiencia baja. Dentro de los equipos instalados dentro de la planta se cuentan con turbinas que requieren un alto consumo de vapor para generar una pequeña porción de energía eléctrica. Estos equipos determinan como ineficientes debido a que su consumo específico de vapor está por encima de las 9.07 Tn/kw. (En los turbogeneradores se especifica la eficiencia en klb/kw. Para este estudio se utilizará toda la nomenclatura en Sistema Inglés, por lo que 9.07 Tn/kw es equivalente a 20 klb/kw).

7.4. Turbinas de vapor

Las turbinas de vapor son las encargadas de transformar la energía cinética del vapor en energía mecánica. Velásquez (2007) Menciona que una turbina de

vapor es una turbomáquina que transforma la energía de un flujo de vapor de agua en energía mecánica. Para este estudio se hará referencia a tres tipos de turbinas las cuales son las más utilizadas en la industria azucarera en Guatemala, las cuales se mencionan a continuación.

7.4.1. Turbinas de contrapresión

Las turbinas de vapor de contrapresión también son llamadas turbinas de escape. Velásquez (2015) define que las turbinas de contrapresión “se utilizan para expandir, y de esta forma reducir la presión del vapor generando, y al mismo tiempo la energía mecánica y luego descargan el vapor a una presión aún elevada, para ser utilizado en procesos industriales” (p. 25). Por lo que queda claro que estas turbinas son utilizadas cuando existe un uso posterior del vapor en un proceso industrial.

7.4.2. Turbinas de condensación

Las turbinas de condensación son las más utilizadas en las centrales termoeléctricas. Suelen ser de mayor tamaño y se requieren de un condensador, regularmente la presión de descarga de dichas turbinas suele ser inferior a la presión atmosférica esto debido a la condensación del vapor. En la industria azucarera estas son de gran utilidad para la generación en no zafra.

7.4.3. Turbinas combinadas (extracción - condensación)

Turbinas que pueden trabajar de las dos formas. Estas turbinas son de gran utilidad debido a que se puede aprovechar cierta parte del vapor agotado en la turbina para un subproceso y el vapor restante se puede condensar para la

recuperación de su agua. Se evaluará esta tecnología por su versatilidad para ser aprovechado el vapor.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO
 - 1.1. Plantas cogeneradoras en la industria azucarera
 - 1.2. Eficiencia de las plantas cogeneradoras
 - 1.3. Crecimiento de la productividad empresarial
 - 1.4. Factores que influyen en la eficiencia y productividad de una planta cogeneradora
 - 1.5. Tecnologías para plantas cogeneradoras

2. SITUACIÓN ACTUAL DEL ÁREA DE GENERACIÓN
 - 2.1. Operación actual
 - 2.1.1. Área de producción de vapor
 - 2.1.2. Área de producción de energía
 - 2.2. Planteamiento del problema
 - 2.3. Alcance de la propuesta

3. ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS EQUIPOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA.

3.1. Calderas

3.1.1. Calderas de baja presión

3.1.1.1. Calderas de 400 PSI

3.1.1.2. Calderas de 600 PSI

3.1.2. Calderas de alta presión

3.1.2.1. Caldera de 900 PSI

3.1.2.2. Caldera de 1500 PSI

3.2. Turbogeneradores

3.2.1. Turbogeneradores de condensación

3.2.2. Turbogeneradores de extracción

3.2.3. Turbogeneradores combinados (extracción-condensación)

3.2.4. Turbogeneradores instalados

3.2.4.1. Turbogenerador GE 26MW

3.2.4.2. Turbogenerador SNM-BRUSH 22MW

3.2.4.3. Turbogenerador TGM 20MW

3.2.4.4. Turbogenerador Westinghouse 10MW

3.2.4.5. Turbogenerador GE 7.5MW

3.2.5. Capacidad instalada de generación de energía

3.2.6. Eficiencias de turbogeneradores

4. ANÁLISIS TÉCNICO DE LA OPERACIÓN ACTUAL

4.1. Producción de energía térmica

4.2. Producción de energía eléctrica

4.2.1. Generación de energía bruta

4.2.2. Consumo interno industrial

4.2.3. Venta de energía al SNI

- 4.3. Eficiencia en el proceso de cogeneración
 - 4.4. Influencia de la cogeneración en la matriz energética de Guatemala
 - 4.5. Personal operativo
 - 4.6. Modelo de operación
5. ANÁLISIS ECONÓMICO
- 5.1. Modelo de operación propuesto
 - 5.2. Costos de operación actual
 - 5.3. Costos de operación propuesto
 - 5.4. Costo de inversión unidad extracción condensación
6. ANÁLISIS DE COSTOS / ANÁLISIS FINANCIERO
- 6.1. Valor actual neto
 - 6.2. Tasa interna de retorno
7. PRODUCTIVIDAD DE LA COGENERACIÓN
- 7.1. Productividad actual
 - 7.2. Productividad esperada

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

9. METODOLOGÍA

La realización de esta tesis se es necesario definir el concepto de metodología de investigación. Se define la metodología como un conjunto de técnicas y procedimientos que se aplican de forma ordenada para realizar un estudio. A continuación, se muestra la metodología de la investigación que refiere la forma en que se plateo la presente investigación

9.1. Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto es cuantitativo. Es cuantitativo por que se realizara análisis de datos, y valores numéricos. Se analizarán datos de consumo de vapor, eficiencia de las maquinas, costos de operación; debido a las variables en estudió es cuantitativo.

El alcance adoptado es descriptivo. “La investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 80). Se buscará dar una opcion de rentabilidad del problema planteado.

Se adoptará un diseño no experimental, Hernández, Fernández y Baptista, (2014) refiere que la investigación no experimental, son “Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos” (p. 152). La información del diseño de una propuesta para mejorar la eficiencia y productividad de una planta térmica de un ingenio azucarero mediante la evaluación técnico-económica de instalar un turbogenerador con tecnología extracción-condensación, se analizará

con datos naturales obtenidos de históricos, datos extraídos de las hojas técnicas de los equipos, por lo que no se hará manipulación de los datos. Adicional, será transaccional ya que solo se recolectarán los datos mencionados una sola vez.

9.2. Unidades de análisis

Se tomará en cuenta como población en estudio los turbogeneradores. Debido a que esta población es pequeña no es necesario utilizar fórmulas para calcular el tamaño de muestra. El muestro que se utilizara será el de selección intencional, ya que se seleccionara los equipos que actualmente intervienen en la operación

9.3. Variables

Las variables que se utilizaran en el desarrollo son del tipo dependientes e independientes. Para las variables cuantitativas se analizarán de tipo continuas y para las variables cualitativas en escala ordinal. A continuación, se describen las variables en análisis.

Tabla II. **Tabla de variables en análisis**

Variable	Tipo	Definición teórica	Definición operativa
Eficiencia en turbogeneradores	Dependiente	Capacidad para realizar o cumplir adecuadamente una función	Medición cuantitativa de tipo continua.
Alto número de personal con costos altos de operación	Dependiente	Conjunto de personas que se desempeñan y prestan sus servicios profesionales en alguna empresa	Medición cuantitativa de tipo discreta.
Procedimientos de operación	Dependiente	Acciones que tienen que realizarse todas igualmente, para obtener los mismos resultados bajo las mismas circunstancias	Medición cualitativa en escala ordinal.
Costo de la generación de energía	Independiente	Cantidad de dinero que cuesta generar energía eléctrica en una planta de generación.	Medición cuantitativa de tipo continua, en dólares americanos (\$).
Pérdidas de energía	Independiente	Es la cantidad de energía que se desaprovecha en un sistema.	Medición cuantitativa de tipo continua.
Productividad de la planta de generación	Independiente	Capacidad de producir por unidad de trabajo.	Medición cuantitativa de tipo continua.

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases del estudio

Dentro de este estudio se utilizarán varias técnicas, las cuales serán cuantitativas como cualitativas. Para las técnicas cuantitativas se utilizarán, recolección de datos, evaluación de costos, lo cual servirá para evaluar alternativas; por otro lado, se usará análisis estadístico. En los siguientes numerales se presenta las líneas a seguir para esta investigación

9.4.1. Fase 1: revisión de literatura

Esta fase es primordial para realizar la investigación. Esta ayuda a comprender el problema mediante la lectura de documentos que aporte información importante para este estudio, de tal modo que apoyara y sustentara el marco teórico. Se consultarán documentos con relación a evaluación de proyectos de cogeneración, para lo cual abarca investigaciones, seminarios, tesis, etc.

9.4.2. Fase 2: evaluación de la situación actual de la operación y recolección de información

La recolección de datos servirá para tener una base para realizar una comparativa de datos con turbogeneradores modernos. Se analizará la situación actual de operación del ingenio en estudio, lo cual lleva recolectar datos de consumo de vapor de las turbinas, generación de energía de cada unidad generadora con la que se opera; se analizaran alternativas de nuevos turbogeneradores. Toda la información de sintetizara en Excel para luego ser analizada.

9.4.3. Fase 3: análisis de información

Se comparará las unidades instaladas contra unidades modernas. Con la información recolectada se podrá realizar una comparativa entre la operación actual y una operación con una nueva proyección de generación de energía con la mejor alternativa de turbogeneradores modernos. Se utilizarán técnicas como análisis de Pareto y estadística descriptiva.

9.4.4. Fase 4: análisis de costos

Se realizará una proyección de costo beneficio de adquirir un turbogenerador moderno. La adquisición de un turbogenerador moderno da la oportunidad de cambiar el modo de operación para lo cual es importante describir la manera en la cual se va a recuperar la inversión. Se analizará el valor de la puesta marcha del proyecto versus la energía extra producida y otros factores claves como lo son el aprovechamiento del vapor y la disminución del uso del combustible (biomasa).

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

En el desarrollo de este estudio se harán el uso de distintas técnicas. Se definirá técnicas como "un conjunto de reglas y operaciones para el manejo de los instrumentos que auxilian al individuo en la aplicación de los métodos" (Vega, s.f., párr. 1). A continuación, se presentan cada una las técnicas a utilizar en el presente estudio.

- Estadística descriptiva

Es la presentación de datos ordenados. "La estadística descriptiva está formada por procedimientos empleados para resumir y describir las características importantes de un conjunto de mediciones" (Medenhall, Beaver, y Beaver, 2010, p. 4). Esta tecnica sera utilizada para graficar datos de las tendencias de consumos de turbogeneradores y sus respectivas eficiencias.

- Diagrama de Pareto

Sirve para ordenar información UNIT (2009) refiere que es un método grafico para ordenar la información y esta información presentada es en orden de importancia. Se utilizará para el ordenamiento de la información para lo cual se observarán el costo de los modelos de operación.

- Diagrama de causa-efecto

También llamado diagrama de causa-efecto. Este análisis permite ser un vehículo para apoyar en tener un pensamiento común de un problema complejo,

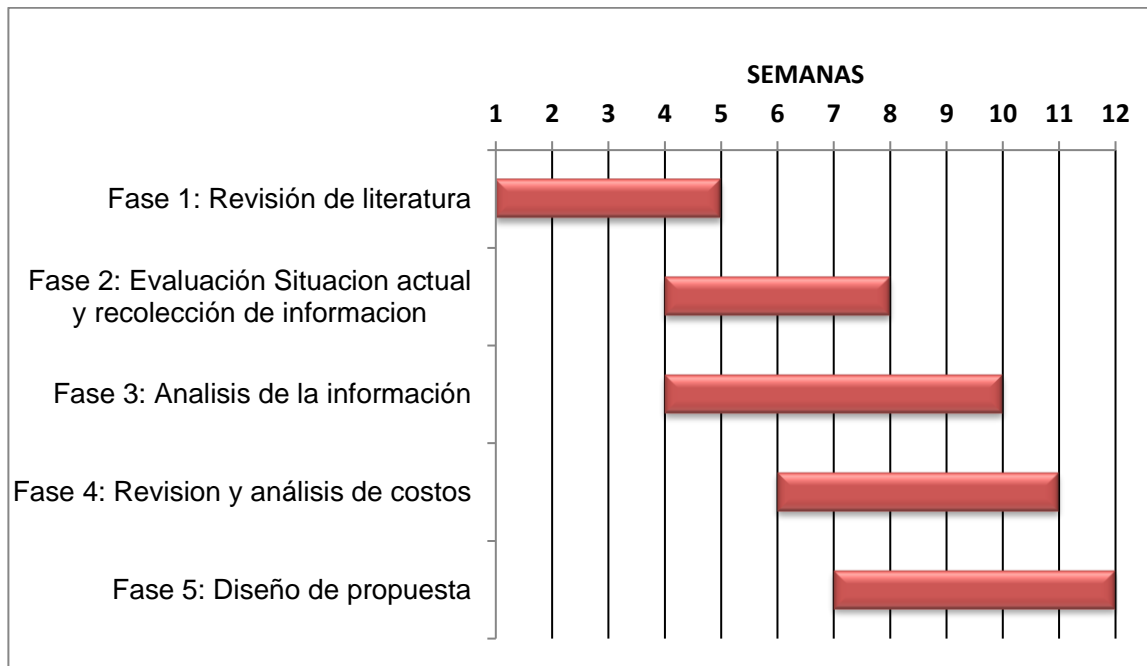
con un nivel de detalle visiblemente perceptible. Romero y Diaz (2010) afirma que con esta herramienta el lector podrá apreciar la problemática del trabajo, así mismo todas las causas encontradas con este trabajo serán descritas para la evaluación del proyecto.

- Análisis técnico-económico

Este análisis involucra el aspecto de operación de procesos con el dinero. Por lo que un estudio técnico involucra los requerimientos técnicos y operativos que son necesarios para la producción de un bien. Por otro lado “El análisis económico tiene como objetivo, determinar los beneficios y costos desde el punto de vista del país, la población y su impacto en la economía” (Duare, Jimenez, Y Ruiz, 2007, p. 2). Para este estudio se realizará un análisis de la operación y de que modo se justificará materialmente la ejecución del proyecto.

11. CRONOGRAMA

Figura 1. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para la presente propuesta de trabajo de investigación, se utilizarán los recursos económicos propios del estudiante de maestría debido a que la investigación se realizará dentro de la empresa en la cual se labora. Los recursos necesarios para esta investigación se resumen en la siguiente tabla.

Tabla III. **Presupuesto elaboración de proyecto**

Recursos	Costo
Material de investigación	Q 500
Visitas técnicas	Q 1,500
Total	Q 2,000

Fuente. elaboración propia.

Debido a que la inversión de la investigación es baja, se considera factible la realización de la misma, ya que en su mayoría la información a recolectar es dentro de la empresa en estudio y en su mayoría las consultas se realizaran vía electrónica.

13. REFERENCIAS

1. Barrios, R. (2016). *Montaje y puesta en funcionamiento de una unidad de generación eléctrica de 46 MW por medio de biomasa en el Ingenio Palo Gordo* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4671/1/Roberto%20Barrios%20Rosales.pdf>.
2. Chitay, V. (2015). *Estudio técnico-económico de la propuesta de automatización de un turbogenerador de escape de 4MW en un Ingenio azucarero* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3213/1/Victor%20Manuel%20Chitay%20Alvarado.pdf>.
3. Cifuentes, W. (2011). *Sistemas de cogeneración para el ahorro de energía en la industria* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0171_ME.pdf.
4. Duare, T., Jimenez, R. y Ruiz, M. (agosto, 2007). Análisis Económico de Proyectos de Inversión. *Scientia et Technica*, 13(35), 333 - 338. Recuperado de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5429>.

5. Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, Pilas. *Metodología de la Investigación*. 6ta ed. México: McGraw Hill. Recuperado de <https://www.uca.ac.cr/wpcontent/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>.
6. Ishikawa, K. (1989). *Introducción al control de calidad*. España: Diaz de Santos.
7. Medenhall, W., Beaver, R. y Beaver, B. (2010). *Introducción a la probabilidad y estadística*. Cengage Learning. 13va ed. México: CENGAGE Learning. Recuperado de https://www.academia.edu/38279560/Introduccion_a_la_Probabilidad_y_Estadistica_Mendenhall_13ed.
8. Muñoz, M. (2015). *Guía para determinar y reducir pérdidas de energía en generadores de vapor*. Guatemala: CENGICANA. Recuperado de <https://cengicana.org/info/guia-para-determinar-y-reducir-perdidas-de-energia-en-generadores-de-vapor>.
9. Muñoz, M. y Rovira, A. (2014). *Maquinas Térmicas*. Madrid, España: UNED. Recuperado de https://kupdf.net/download/maquinas-termicas-marta-muoz-dominguezpdf_5a26e484e2b6f5c81919f0ea_pdf.
10. Prokopenko, J. (1989). *La Gestión de la productividad*. Ginebra, Suiza: OIT.

11. Ramírez, J. (2018). *Evaluación técnica-económica de los efectos de la introducción de energías renovables no convencionales al sistema nacional interconectado de Guatemala* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/9192/1/Josu%C3%A9%20Miguel%20Ram%C3%ADrez%20Lemus.pdf>.
12. Romero, E. y Díaz, J. (enero, 2010). El uso del diagrama causa-efecto en el análisis de casos. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 40(3-4), 127-142. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/270/27018888005.pdf>.
13. UNIT (2009). *Herramientas para la mejora de la calidad*. Uruguay: Autor. Recuperado de <https://qualitasbiblo.files.wordpress.com/2013/01/libro-herramientas-para-la-mejora-de-la-calidad-curso-unit.pdf>.
14. Vega, L. (s.f.). *Técnica*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/13866388/#:~:text=1%20TECNICA%20Es%20un%20conjunto,caracter%C3%ADsticas%20del%20objeto%20de%20estudio>.
15. Velásquez, A. (2015). *Montaje de un turbogenerador de contra presión de 22 MW para asegurar la continuidad de operación del Ingenio La Unión* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3018/1/Amilcar%20Estuardo%20Vel%C3%A1squez%20Alonzo.pdf>.

16. Velásquez, L. (2007). *Estudio de mejora de la condición de operación en una turbina de vapor Elliott modelo DYR* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5065/1/LUIS%20ALBERTO%20VEL%C3%81SQUEZ%20AGUILAR.pdf>.

17. Xiloj, T. (2015). *Análisis técnico económico del incremento de la cogeneración mediante la optimización del uso del vapor con biomasa cañera y la instalación de un turbogenerador en un Ingenio Azucarero* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/927/1/Tom%C3%A1s%20Enrique%20Xiloj%20Cuin.pdf>.