



**FACULTAD DE POSTGRADO  
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

**ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO EN INSTALACIÓN  
INCINERADOR DE LODOS PARA GENERAR VAPOR  
PLANTAS TÉRMICAS CORTÉS, HONDURAS, 2020.**

**SUSTENTADO POR:**

**BYRON ORLANDO MENJÍVAR GUTIÉRREZ  
MOISÉS DASSAJEW MEMBREÑO BARRIOS**

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE  
MÁSTER EN DIRECCIÓN EMPRESARIAL**

**SAN PEDRO SULA, CORTÉS, HONDURAS, C.A.**

**FEBRERO 2021**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**UNITEC  
FACULTAD DE POSTGRADO**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTOR  
MARLON BREVÉ REYES**

**SECRETARIO GENERAL  
ROGER MARTÍNEZ MIRALDA**

**VICERRECTORA ACADÉMICA  
DESIREE TEJADA CALVO**

**VICEPRESIDENTE UNITEC, CAMPUS S.P.S  
CARLA MARIA PANTOJA**

**ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO EN INSTALACIÓN  
INCINERADOR DE LODOS PARA GENERAR VAPOR  
PLANTAS TÉRMICAS CORTÉS, HONDURAS, 2020.**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS  
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
MÁSTER EN DIRECCIÓN EMPRESARIAL**

**ASESOR METODOLÓGICO**

**MARTHA MARÍA HERNÁNDEZ**

**ASESOR TEMÁTICO**

**MAURICIO JAVIER MELGAR HERNÁNDEZ**

**MIEMBROS DE LA TERNA**

**FABIO DIONICIO PONCE LAGOS**

**NANCY LARA**

**EDUARDO EFRAÍN VALLE VEGA**

# **DERECHOS DE AUTOR**

© Copyright 2020  
Byron Orlando Menjívar Gutiérrez  
Moisés Dassajew Membreño Barrios

Todos los derechos son reservados.



**FACULTAD DE POSTGRADO**  
**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

**ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO EN INSTALACIÓN  
INCINERADOR DE LODOS PARA GENERAR VAPOR  
PLANTAS TÉRMICAS CORTÉS, HONDURAS, 2020.**

**AUTORES**  
**BYRON ORLANDO MENJÍVAR GUTIÉRREZ & MOISÉS DASSAJEW**  
**MEMBREÑO BARRIOS**

**RESUMEN**

El estudio realizado en Plantas Térmicas Honduras, tuvo como objetivo determinar el ahorro que representa para la empresa instalar un incinerador de lodos HFO/LO al generar el vapor necesario para los equipos auxiliares. La planta térmica consume combustible pesado con grandes cantidades de metales (al + si hasta de 60ppm) y agua (hasta 0.5%) se trata este combustible y da como resultado un residuo de aproximadamente 1% a 0.5% del volumen total de combustible. Este producto luego se trata para eliminar el exceso de agua dando un residuo con gran cantidad de metales erosivos (Al + Si) y un contenido de agua menor al 10%; todavía con un valor calorífico neto de 32,82 MJ / kg. Se realizó el análisis económico y se concluyó que se acepta la hipótesis de investigación al obtenerse una tasa interna de retorno del 81% siendo ésta mayor que el costo de capital del financiamiento del Proyecto, el periodo de retorno de la inversión (PRI) fue de 1.5 años y la relación costo-beneficio fue de 1.71. El proyecto cumplió con todos los aspectos económicos y se recomienda su implementación al contar con los fondos disponibles.

**Palabras claves:** Costo-Beneficio, HFO/LO, Lodo, PRI, Valor Calorífico.



**FACULTAD DE POSTGRADO**  
**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

**ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO EN INSTALACIÓN  
INCINERADOR DE LODOS PARA GENERAR VAPOR  
PLANTAS TÉRMICAS CORTÉS, HONDURAS, 2020.**

**AUTORES**  
**BYRON ORLANDO MENJÍVAR GUTIÉRREZ & MOISÉS DASSAJEW**  
**MEMBREÑO BARRIOS**

**ABSTRACT**

The objective of the study carried out at the Honduras Thermal Plants, was to determine the savings that the company represents installing an HFO / LO sludge incinerator generating the necessary steam for the auxiliary equipment. The thermal plant consumes heavy fuel oil with large amounts of metals (Al + Si up to 60ppm) and water (up to 0.5%). This fuel is treated and results in a residue of approximately 1% to 0.5% of the total fuel volume. This product is then treated to remove excess water, giving a residue with a large amount of erosive metals (Al + Si) and a water content of less than 10%; still with a net calorific value of 32.82 MJ / kg. The economic analysis was carried out, it was concluded that the alternative hypothesis is accepted as an internal rate of return of 81% is obtained, this being greater than the cost of capital of the financing of the Project, the period of return on investment (PRI) was of 1.5 years and the cost-benefit ratio was 1.71. The project complied with all economic aspects and its implementation is recommended given the available funds.

**Key Words:** Benefit-Cost, HFO / LO, Sludge, PRI, Calorific Value.

## **DEDICATORIA**

Byron Orlando Menjívar Gutiérrez

A Dios toda la honra y gloria, que me ha dado la fuerza de voluntad y sabiduría necesarias para finalizar esta meta, a mi papá Orlando Menjivar y a mi mamá Martha Gutiérrez, por su gran apoyo y acompañamiento durante todo mi proceso de formación académica.

Moisés Dassajew Membreño Barrios

A Dios Todopoderoso, que me ha dado fuerza y sabiduría necesaria para iniciar y finalizar este proyecto de vida, a mi madre Olga Barrios de Membreño y a mi padre Moisés Membreño por su gran apoyo y motivación.

## **AGRADECIMIENTO**

A los catedráticos que nos compartieron sus conocimientos durante todo el proceso de formación académica, en especial a nuestra asesora metodológica, Licda. Martha María Hernández y a nuestro asesor temático, Dr. Mauricio Javier Melgar Hernández por su valioso aporte en el desarrollo de nuestro proyecto de graduación.

También agradecemos de manera especial a Ing. Nelson Danery Varela Martínez, Ing. Harol Kenmal Chicas Manzanares, Ing. Leonardo Josué García López y a Mecánico III de experiencia Marco Tulio Lagos Vallecillo por su gran aporte y por el tiempo que dedicaron para compartir sus conocimientos como expertos en el tema.



# ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....               | 1  |
| 1.1 INTRODUCCIÓN .....  | 1  |
| 1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....                               | 2  |
| 1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....                                 | 4  |
| 1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA .....                                | 4  |
| 1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....                               | 5  |
| 1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....                             | 5  |
| 1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO .....                                  | 6  |
| 1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....                                       | 6  |
| 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                  | 6  |
| 1.5 JUSTIFICACIÓN .....   | 7  |
| 1.6 VIABILIDAD DEL PROYECTO .....                                 | 9  |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....                                   | 10 |
| 2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACION ACTUAL .....                         | 10 |
| 2.1.1 ANÁLISIS DEL MACROENTORNO .....                             | 10 |
| 2.1.2 ANÁLISIS DEL MICROENTORNO.....                              | 15 |
| 2.1.3 ANÁLISIS INTERNO.....                                       | 16 |
| 2.2 TEORÍAS DE SUSTENTO.....                                      | 18 |
| 2.2.1 TEORÍA DE FACTIBILIDAD.....                                 | 18 |
| 2.2.2 TEORÍA DE IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS WTE.....              | 19 |
| 2.2.3 LEYES DE LA TERMODINÁMICA .....                             | 20 |
| 2.2.4 ENTREVISTA A EXPERTOS .....                                 | 22 |
| 2.3 CONCEPTUALIZACIÓN.....  | 22 |
| 2.4 MARCO LEGAL.....  | 25 |
| 2.4.1 LEY GENERAL DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA DECRETO 404-2013..... | 25 |
| 2.4.2 LEY GENERAL DEL AMBIENTE DECRETO 104-93. ....               | 25 |
| CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....                                   | 26 |
| 3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA .....                                | 26 |
| 3.1.1 MATRIZ METODOLÓGICA .....                                   | 26 |
| 3.1.2 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES .....                   | 28 |
| 3.1.3 HIPÓTESIS.....  | 30 |
| 3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS.....  | 31 |

|   |  |    |
|---|--|----|
| 3.3                                     | DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....                         | 32 |
| 3.3.1                                   | POBLACIÓN Y MUESTRA.....                                 | 32 |
| 3.3.2                                   | UNIDAD DE ANÁLISIS Y RESPUESTA .....                     | 33 |
| 3.4                                     | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS .....                  | 33 |
| 3.4.1                                   | INSTRUMENTOS.....  | 34 |
| 3.4.2                                   | TÉCNICAS .....   | 34 |
| 3.4.3                                   | PROCEDIMIENTOS.....                                      | 34 |
| 3.5                                     | FUENTES DE INFORMACIÓN.....                              | 36 |
| 3.5.1                                   | FUENTES PRIMARIAS .....                                  | 36 |
| 3.5.2                                   | FUENTES SECUNDARIAS .....                                | 36 |
| CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS..... |  | 37 |
| 4.1                                     | ANTECEDENTES DE LA EMPRESA .....                         | 37 |
| 4.1.1                                   | BREVE DESCRIPCIÓN HISTÓRICA .....                        | 37 |
| 4.1.2                                   | PRODUCTOS QUE ELABORA O SERVICIOS QUE OFRECE.....        | 37 |
| 4.2                                     | PROCESO ACTUAL .....                                     | 38 |
| 4.2.1                                   | DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS .....                        | 38 |
| 4.2.2                                   | DISTRIBUCIÓN DE PLANTA .....                             | 39 |
| 4.2.3                                   | MAQUINARIA Y EQUIPO.....                                 | 40 |
| 4.2.4                                   | MATERIA PRIMA/INSUMOS.....                               | 40 |
| 4.2.5                                   | MANEJO DE MATERIALES.....                                | 40 |
| 4.2.6                                   | ANÁLISIS DE PERSONAL .....                               | 41 |
| 4.3                                     | MÉTODO DE MEDICIÓN A SER APLICADO .....                  | 41 |
| 4.3.1                                   | JUSTIFICACIÓN .....                                      | 41 |
| 4.3.2                                   | CONVERSIÓN DE ENERGÍA CALORÍFICA.....                    | 42 |
| 4.3.3                                   | APLICACIÓN .....   | 45 |
| 4.4                                     | CÁLCULO DE COSTO DE CAPITAL .....                        | 49 |
| 4.5                                     | RESULTADOS.....  | 51 |
| 4.5.1                                   | ASPECTOS TECNICOS REQUERIDOS PARA LA IMPLEMENTACION..... | 51 |
| 4.5.2                                   | MARCO LEGAL Y AMBIENTAL.....                             | 52 |
| 4.5.3                                   | ESTADOS FINANCIEROS BASE.....                            | 53 |
| 4.5.4                                   | ESTADOS FINANCIEROS OPTIMISTAS.....                      | 54 |
| 4.5.5                                   | ESTADOS FINANCIEROS PESIMISTAS .....                     | 55 |
| 4.6                                     | ANÁLISIS DE RESULTADOS .....                             | 56 |
| 4.6.1                                   | ASPECTOS TÉCNICOS .....                                  | 56 |
| 4.6.2                                   | ASPECTOS LEGALES AMBIENTALES.....                        | 56 |

|  |                                      |    |
|--|--------------------------------------|----|
| 4.6.3  | ESTADOS FINANCIEROS BASE .....       | 56 |
| 4.6.4  | ESTADOS FINANCIEROS OPTIMISTAS ..... | 56 |
| 4.6.5  | ESTADOS FINANCIEROS PESIMISTAS ..... | 56 |
| 4.7  | COMPROBACION DE HIPOTESIS .....      | 57 |
| 4.8  | PROPUESTA DE MEJORA .....            | 57 |
| 4.9  | PROPUESTA DE MEJORA CONTINUA.....    | 57 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                        |                                      | 58 |
| 5.1  | CONCLUSIONES .....                   | 58 |
| 5.2  | RECOMENDACIONES.....                 | 59 |
| BIBLIOGRAFÍA .....   |                                      | 60 |
| ANEXOS .....   |                                      | 62 |
| ANEXO 1 TOMADO DE TERMODINÁMICA AGUA SATURADA TEMPERATURAS .....       |                                      | 62 |
| ANEXO 2 TOMADO DE TERMODINÁMICA TABLA DE AGUA SATURADA PRESIONES ..... |                                      | 63 |
| ANEXO 3 TOMADO DE TERMODINÁMICA TABLA DE VAPOR SOBRECALENTADO. ....    |                                      | 64 |
| ANEXO 4 FLUJOS DE EFECTIVO 2017.....                                   |                                      | 65 |
| ANEXO 5 FLUJOS DE EFECTIVO 2018.....                                   |                                      | 65 |
| ANEXO 6 FLUJOS DE EFECTIVO 2019.....                                   |                                      | 65 |
| ANEXO 7 FLUJOS DE EFECTIVO 2020.....                                   |                                      | 65 |
| ANEXO 8 CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA O INSTITUCIÓN .....        |                                      | 66 |
| ANEXO 9 CARTA DE COMPROMISO PARA ASESORÍA TEMÁTICA .....               |                                      | 67 |
| ANEXO 10 AUTRORIZACION PARA ESTADOS FINANCIEROS DE LAS PLANTAS .....   |                                      | 68 |
| ANEXO 11 INFORME DE ANÁLISIS LODOS HAFO/LO.....                        |                                      | 69 |
| ANEXO 12 SONDEO DE PRECIOS INCINERADORES EN INTERNET.....              |                                      | 70 |
| ANEXO 13 ENTREVISTA A EXPERTOS.....                                    |                                      | 70 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Matriz Metodológica.....                               | 27 |
| Tabla 2. Operacionalización de Variables. ....                  | 29 |
| Tabla 3. Procedimientos.....                                    | 35 |
| Tabla 4. Cálculos Teóricos. ....                                | 44 |
| Tabla 4. Plan de Inversión Flujos de Efectivo. ....             | 45 |
| Tabla 5. Plan de Inversión Costos de Equipo. ....               | 46 |
| Tabla 6. Plan de Inversión Costos Fijos.....                    | 46 |
| Tabla 7. Plan de Inversión Costos Variables. ....               | 47 |
| Tabla 9. Plan de Inversión Activos Fijos. ....                  | 47 |
| Tabla 9. Plan de Inversión. ....                                | 48 |
| Tabla 10. Plan de Inversión Inflación Interanual.....           | 50 |
| Tabla 11. Plan de Inversión Estados Financieros B.....          | 53 |
| Tabla 12. Plan de Inversión Estados Financieros Optimista.....  | 54 |
| Tabla 13. Plan de Inversión Estados Financieros Pesimista. .... | 55 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Rutas potenciales de recuperación de energía con lodos.....           | 13 |
| Figura 2. Representación esquemática de la combustión de lodos.....             | 15 |
| Figura 3. Residuos Bituminosos, transferencias internacionales - Planta 1 ..... | 16 |
| Figura 4. Residuos Bituminosos, transferencias internacionales - Planta 1 ..... | 17 |
| Figura 5. Residuos Bituminosos, transferencias internacionales - Planta 2 ..... | 17 |
| Figura 6. Identificación de variables.....                                      | 28 |
| Figura 7. Enfoque metodológico.....   | 31 |
| Figura 8. Calderas Principales de Vapor Planta 2.....                           | 38 |
| Figura 9. Distribución Plata 2 Generación de Vapor.....                         | 39 |
| Figura 10. Generador de Vapor. ....   | 42 |
| Figura 12. Formula TMAR.....  | 49 |
| Figura 13. Plan de Inversión Activos Fijos.....                                 | 50 |

# **CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

Para la planta térmica el vapor es un recurso muy valioso y se obtiene en una segunda etapa de la producción de energía aprovechando las altas temperaturas de los gases de la combustión de combustible pesado HFO/LO que se hacen pasar por medio de tuberías hacia unas calderas donde se da el intercambio de energía de los gases de escape hacia el agua produciendo vapor en el proceso, el mismo es enviado mediante tuberías hacia una turbina de cogeneración en donde, se aprovecha la presión del vapor para inducir movimiento en la turbina que a su vez mueve un generador de energía eléctrica, dicha turbina genera hasta 12MW con el vapor obtenido debido al calentamiento del agua por medio de los gases de escape producidos en el proceso de generación de energía eléctrica.

Actualmente la planta usa este mismo vapor para alimentar equipos auxiliares que requieren vapor para trabajar dentro de parámetros idóneos de funcionamiento, ya en el sistema de equipos axilares es frecuente encontrar fugas o uso ineficiente del vapor, con este proyecto se espera aportar el vapor que requieren los equipos auxiliares y destinar de esta manera la mayor parte del vapor producido en planta principal a la planta de cogeneración de energía eléctrica, de esta manera, se logra dar un mejor uso a los lodos HFO/LO al usarlos en la producción de vapor para la planta y al mismo tiempo en el proceso se logrará un uso eficiente del vapor en la planta de cogeneración de energía eléctrica.

En el presente estudio busca determinar los costos técnicos, medio ambientales, económicos y legales que nos permitan determinar si es factible llevar a cabo el proyecto de implementación de un incinerador de lodos HFO/LO para generación de vapor plantas térmicas Honduras, San Pedro Sula. Este proyecto además contribuirá con el medio ambiente al utilizar los desechos del proceso de generación de energía eléctrica para generación de vapor, haciendo un uso más eficiente de la materia prima y asegurándose en el proceso del correcto descarte de residuos altamente contaminantes.

La presente investigación consta de cinco capítulos, en el capítulo I se detalla el planteamiento del problema, los objetivos y las preguntas de investigación, el capítulo II contiene la información teórica que sustenta y describe nuestra investigación, en el capítulo III esta descrita la metodología para realizar el estudio siguiendo el capítulo IV con los resultados de la investigación, para finalmente en el capítulo V exponer las conclusiones y recomendaciones.

Para la realización de este estudio se llegó a un acuerdo de confidencialidad con las empresas, donde no se nos es posible utilizar su imagen, nombres, logotipos o cualquier dato que pueda identificar a la empresa. Por tal razón, a fin de ayudar al lector a entender la información aquí descrita se define “Energía Térmicas de Honduras” como un seudónimo para la empresa que está compuesta de dos plantas que de aquí en adelante se les conocerá como “Planta 1” y “Planta 2”.

## 1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

El fueloil se usa como combustible para plantas de energía eléctrica, calderas y hornos. Es una fracción del petróleo que se obtiene como residuo en el proceso de destilación del mismo.

La planta térmica consume combustible pesado con grandes cantidades de metales (al + si hasta de 60ppm) y agua (hasta 0.5%) se trata este combustible y da como resultado un residuo de aproximadamente 1% a 0.5% del volumen total de combustible. Este producto luego se trata nuevamente para eliminar el exceso de agua dando como resultado un producto con la característica que es un residuo muy espeso y pesado, con gran cantidad de metales erosivos (Al + Si) y un contenido de agua menor al 10%; todavía con un valor calorífico neto de 32,82 MJ / kg. Para mayor detalle consulta informe en Anexo 11. (INTERTEK, 2016)

el poder calorífico según los análisis previos de los lodos HFO/LO es muy bueno y se puede intentar recuperar algo de este valor. Es muy importante conocer ciertos datos para el estudio:

¿Cuál es la cantidad de lodos generados por hora? ¿Esto se genera por proceso continuo o proceso por lotes? ¿Hay un almacenamiento para los lodos? Si es así, ¿qué cantidad? ¿Cómo está eliminando actualmente este lodo? ¿Está incurriendo en costos para deshacerse de esto o lo está vendiendo? Si está vendiendo esto, ¿cuál es el precio? Si paga para deshacerse de él, ¿cuál es su costo? Respondiendo estas interrogantes se puede deducir si la nueva solución podría proporcionar un mejor retorno de la inversión que el flujo de ingresos actual.

Históricamente los lodos HFO/LO han representado un problema a resolver para asegurar la continuidad del negocio, no es posible liberar estos lodos a los drenajes de aguas residuales comunes de la planta debido a que es un desecho altamente contaminante y por lo tanto está prohibido por las leyes que regulan la protección al medio ambiente.

La calidad de los combustibles que se compran para el proceso principal de generación cada vez vienen con parámetros de contenidos de metales pesados más altos esto tienen una relación directa con los lodos ya que, entre más mala sea la calidad del combustible mayor será la cantidad de lodos generados, lo antes mencionado se confirmó al resaltar que durante los primeros años de puesta en marcha la planta era suficiente la capacidad de almacenamiento de 2 tanques con capacidad de 12,000 galones cada uno, pero en la actualidad se tiene un problema con el manejo de los lodos HFO/LO ya que la planta se ha visto en la necesidad de ampliar su capacidad de almacenamiento a un tanque de mayor capacidad en cual al cierre de noviembre del 2020 ya contábamos con 649,616 galones de lodos almacenados y con proyecciones a la alza, según los datos estadísticos se proyecta que de mantenerse la cantidad de lodos generados ya para mayo del 2021 llegaríamos a la cantidad de 768,616 galones llegando muy cerca de la máxima capacidad de almacenamiento por lo que se espera que no hacer un cambio importante la empresa se verá en la necesidad de incurrir en un elevado costo para poder disminuir la cantidad de lodos almacenados en la planta.



El motivo por el cuál la planta 1 ha llegado a tener una cantidad de lodos tan grande es debido a que con la tecnología de separación con que cuenta la planta 1 y la planta 2 no se logra llegar a los parámetros de contenido de agua máximo exigido por los proveedores que se llevan los lodos para su disposición final y la cual es un contenido no mayor a 10%, al no cumplir con esta exigencia los proveedores en lugar de comprar los lodos exigen un pago por el servicio de llevarse los lodos de la planta 1 y planta 2, la dirección de las plantas al conocer de las propiedades del lodo HFO/LO concluye que no es rentable pagar para que se lleven este lodo por lo que prefiere almacenarlo.

### 1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Se podría generar vapor a partir de los mismos desechos de los procesos de la planta ahorrando costos por manejo de desechos peligrosos y mejorando a la vez, la confiabilidad del sistema de vapor de planta.

La calidad de los combustibles que se compran para el proceso principal de generación cada vez vienen con parámetros de contenidos de metales pesados más altos esto tienen una relación directa con los lodos ya que, entre más mala sea la calidad del combustible mayor será la cantidad de lodos generados, con la tecnología de separación actual no se logra llegar a los parámetros de contenido de agua máximo exigido por los proveedores que se llevan los lodos para su disposición final y la cual es un contenido no mayor a 10%.

### 1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es viable desde el punto de vista técnico, legal y económico la implementación de un incinerador de lodos HFO/LO para la generación de vapor en Plantas Térmicas Honduras, San Pedro Sula?

### 1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- 1) ¿Cuáles son los requerimientos técnicos que se necesitan para la implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras, San Pedro Sula?
- 2) ¿Cuál es el marco legal y medio ambiental en la implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras, San Pedro Sula?
- 3) ¿Cuál es la viabilidad económica para la implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras, San Pedro Sula?

## 1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

### 1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar a través de un estudio de costo-beneficio la viabilidad económica del proyecto de implementación de un incinerador de lodos HFO/LO desde la perspectiva técnica, Legal medio ambiental y económica.

### 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Establecer los aspectos técnicos requeridos para la implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras, San Pedro Sula.
- 2) Determinar el marco legal hondureño y el impacto medio ambiental con los permisos necesarios para implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras, San Pedro Sula.
- 3) Analizar la viabilidad económica que permita respaldar la implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras, San Pedro Sula.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

Es conveniente para empresa llevar a cabo esta investigación debido a que la implementación de la misma, en caso de considerar viable económicamente el proyecto, ayudará a disminuir costos por transporte, eliminación de desechos peligrosos y usar de forma más eficiente la materia prima del proceso de generación de energía eléctrica. El proyecto logrará cumplir con lo expuesto en la medida que se demuestre en primera instancia teóricamente que logrará alimentar todos los equipos auxiliares de la planta que requieren vapor como una condición operativa, indirectamente a lograr cubrir la demanda interna de vapor se estará colaborando en un aumento en la eficiencia de la producción de vapor de las calderas de cogeneración destinando con esto una mayor eficiencia en la generación de energía eléctrica mediante la turbina de cogeneración de la planta, la cual necesita vapor sobrecalentado para garantizar las condiciones operativas satisfactorias para producir energía sin sacrificar el equipo instalado.

Socialmente este proyecto vendría a colaborar tanto en la comunidad donde las plantas tienen impacto directo, así como en los diferentes lugares donde actualmente se descartan estos desechos peligrosos ya que las plantas con su amplia experiencia en procesos operativos y manejo de desechos peligrosos y que todo lo anterior está respaldado por el manejo de la norma integrada de salud y seguridad ocupacional es respaldo suficiente para asegurar que se hará un manejo más responsable, por medio de la adquisición del equipo propuestos, del destino final de estos desechos considerados de alto riesgo y que deben ser regulados de forma que no lleguen a afectar a las personas. Actualmente la empresa está reduciendo sus envíos internacionales ya que se descubrió que uno de los proveedores al que se le enviaba el desecho no estaba siguiendo todos los requisitos para controlar y hacer un uso correcto de los lodos que se enviaban afectando así a las comunidades alrededor del mismo proveedor.

Las plantas son socialmente responsables por lo que se tiene especial cuidado en todas aquellas acciones que impliquen la posibilidad de afectar directa o indirectamente a las comunidades donde se mantienen operaciones y extendiéndose hasta donde por los procesos de la misma llegue a causar algún posible daño, es por esto que resultará de gran utilidad que las plantas puedan controlar el destino final de los lodos de HFO/LO ya que ello implica que

estará dentro del control de las plantas el nivel de contaminación que este desecho provocara de esta manera se podrán realizar los ajustes en los controles de una manera más eficiente ya que las plantas no pueden influir directamente sobre los procesos de un tercero pero si puede controlar de manera más eficiente la mejora continua en sus procesos internos dando así como resultado un manejo más adecuado de nuestros propios desechos y no confiarle a un tercero la responsabilidad que es nuestra.

En las plantas se está teniendo problemas con la alimentación de vapor a los equipos auxiliares ya que cada vez los contratos de generación de energía eléctrica se vuelven más controlados por parte de nuestro cliente y el mismo está constantemente exigiendo que entreguemos la máxima capacidad de generación, a lo cual estamos obligados a cumplir según los contratos de generación de energía eléctrica que las plantas han firmado, dando como resultado que se requiere de la manera más eficiente posible maximizar la producción de energía con la turbina de cogeneración, los expertos en el área de cogeneración expresan que tendría mejores resultados si el vapor sobrecalentado no se usara para alimentar equipos auxiliares ya que estos equipos por múltiples factores siempre hay perdidas por falta de aislamiento térmico o por fugas en los mismo sistemas de tuberías lo cual representa una pérdida significativa de vapor que pudiera ser destinado a la cogeneración de energía eléctrica.

Al expandir el sistema de vapor a circuitos internos de equipos auxiliares se hace lo que se conoce en el rubro como aumentar los puntos de falla del sistema, cuando usted aumenta los puntos de falla en su sistema hace más difícil el rastreo y solución de la falla lo cual disminuye la eficiencia de su sistema, ya se ha analizado el problema de desviar vapor para consumo de la planta, pero en planteamientos anteriores se ha propuesto usar una caldera de vapor a base de combustible bunker, pero como esta propuesta incluye el consumo de nuestra materia prima de forma directa no es viable económica según los análisis realizados en el pasado, el proceso de cogeneración de vapor para generar energía se usan un desecho de nuestro proceso principal de generación de energía que son los gases de escape, manteniendo ese mismo enfoque los lodos son los desechos de purificar nuestra materia prima por lo cual su costo económico es cero ya que más bien las plantas incurren en un costo pagando a terceros para que se lleven este desecho.

Lo innovador de un incinerador de lodos HFO/LO es que se logrará convertir un desecho peligroso resultado del proceso principal de generación de energía eléctrica en un activo que ayudará a mejorar los procesos internos en las condiciones operativas de los equipos encargados de la generación de energía eléctrica, en la condición actual los lodos deben cumplir con ciertas exigencias de parte de los proveedores que se llevan estos lodos y si no logramos los parámetros exigidos debemos pagar para que se lleven el producto, lo exigido por los proveedores es que los lodos tengan un contenido máximo de agua igual al 10% si se excede este indicador entonces el lodo no genera una carga económica, viendo las tecnologías disponibles en el mercado actual nos damos cuentas que estos lodos pueden ser usados incluso con contenidos de agua igual al 50% por lo que las plantas toman conciencia de que se está haciendo una gestión no muy eficiente en la disposición final de este valioso recurso.

## 1.6 VIABILIDAD DEL PROYECTO

Según los recursos disponibles se puede concluir que el estudio para la implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras, San Pedro Sula se considera que es viable debido a lo siguiente:

1. Se cuenta con el personal capacitado.
2. Acceso a los datos estadísticos necesarios para el estudio.
3. Materiales y financiamiento por parte de la empresa al demostrarse con cálculos matemáticos que es viable económicamente el proyecto.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

El capítulo anterior mostró la definición del problema, el planteamiento del objetivo general y los objetivos específicos, se formularon las preguntas para la investigación, y se expusieron la justificación del proyecto y su viabilidad. En este capítulo se hará un análisis de la situación global, regional y local para mostrar la posición del tratamiento, disposición y el uso para producción de energía de los lodos y con ello describir su aplicación para la producción de vapor.

### **2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACION ACTUAL**

A través de este análisis se presenta información general que permitirá entender desde el escenario internacional y el local la investigación que se está realizando. En este capítulo se determinarán los métodos y la teoría que sustentará la investigación.

#### **2.1.1 ANÁLISIS DEL MACROENTORNO**

Según Mulchandani & Westerhoff (2016), el incremento de los volúmenes de lodos del tratamiento de combustibles en las plantas térmicas se ha convertido en una importante preocupación global. La disposición de estos lodos es un reto particular y posee severos daños ambientales debido al alto contenido orgánico, tóxico y de metales pesados contaminantes dentro de sus constituyentes. Con el rápido incremento de la población y el crecimiento de la urbanización ha resultado en una alta demanda de recursos como espacio, agua, comida y energía. Estas cuestiones son un poco ambiciosas para la meta global de un desarrollo sostenible y, por lo tanto, han iniciado el interés global de estrategias sostenibles para el uso de la energía, producción y el manejo de los desechos. Una consecuencia directa que fácilmente se ignora es el incremento de los desechos globales en un escalado volumen de lodos por uso de combustibles.

Para Syed Hassan (2017), los lodos, pueden ser descritos como los desechos sólidos generados por el tratamiento de combustibles pesados y de aceite en las plantas térmicas. Para facilitar el consumo de combustible, su transporte y cualquier gestión o logística requiere procesos de tratamiento, por lo que los lodos entre sus propiedades físicas deben incluir grados de espesamiento y deshidratación. Estos procesos ayudan a incrementar las concentraciones de las partículas sólidas en los lodos en un 10 a 25% de sus líquidos. En algunos tratamientos primeramente se realiza un proceso de filtrado para remover las partículas más grandes como arena y piedras, seguidamente se colocan en tanques de sedimentación usando antes las máquinas con fuerza gravitacional para obtener la formación de un compuesto acuoso más fácil de tratar, todo lo que se desecha en estos procesos es lo que compone los lodos.

Desafortunadamente, la gran variedad de lodos, sus orígenes y la producción o procesos de tratamiento conlleva a nuevas fuentes contaminantes, gasto de energía e incurrir en más costos para la disposición apropiada de estos desechos.

Según el informe de Syed Hassan (2017), la producción anual de lodos fue estimada en 10 millones de toneladas, en materia seca, 20 millones de toneladas y 49 trillones de litros en Europa, China y Estados Unidos respectivamente, y futuros incrementos están proyectados con el crecimiento de la economía y la población. Dado eso, es necesario un desarrollo rápido del manejo de los lodos, ya que muchos procesos están apuntando a la recuperación y uso de derivados de los lodos, todo esto requerirá mejores políticas y tecnologías para el procesamiento, tratamiento, recuperación y disposición de los lodos. Esto crea un desafío en la ingeniería y el diseño asociado con las tecnologías de desechos de lodos enfocadas en la producción de energía.

Según Zacharof & Lovitt (2014), debido a sus contenidos orgánicos volátiles, andan entre el 21 y 48%, la energía contenida en lodos secos registrados varia del 11.10 a 22.10 MJ/kg lo que indica un comparable o quizás alto valor calorífico en comparación con varias muestras de biomasa. Este valor de calentamiento es uno de los determinantes para la sostenibilidad del lodo como un combustible sólido, si lo que se necesita es utilizar el desecho para generación de energía antes de su final disposición. Por consiguiente, la energía obtenida de los lodos es considerada como el método más atractivo de utilizar la gran cantidad de

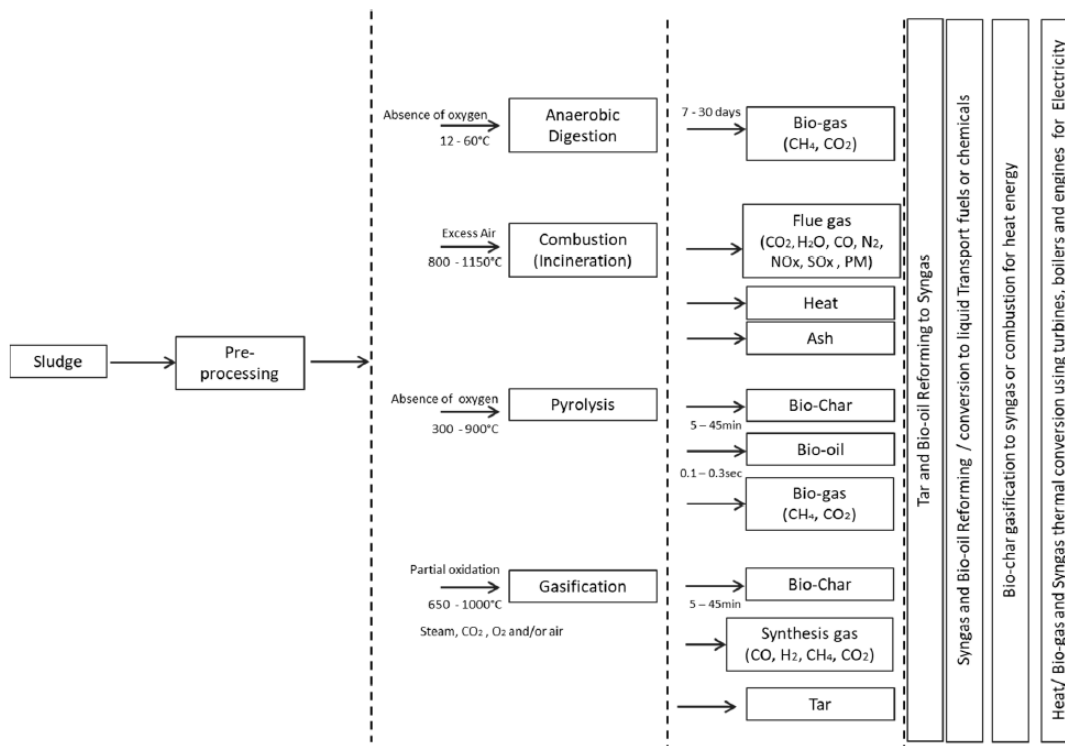


desechos eliminando la materia orgánica volátil y reduciendo el volumen con la posibilidad de recuperar metales y otros compuestos. (Pág. 27-37).

Según Patil, Kulkarni, & Patil (2014), la mayoría de estas tecnologías de recuperación de energía no son nuevas, han sido desarrollados comercialmente para otros tipos de combustibles, sin embargo, las diferencias en el físico y las propiedades químicas de los lodos presentan desafíos técnicos únicos que influyen en la energía proceso de recuperación y reacciones. Especialmente con el creciente interés en WTE (Waste To Energy), la afición por este concepto podría ser un sesgo adecuado en la practicidad y sostenibilidad de tales sistemas. Actualmente, solo un puñado de artículos ha revisado la recuperación de energía como un método de tratamiento de lodos sin que ninguno evalúe las brechas actuales en las prácticas y su implicación para sustentabilidad.

#### 2.1.1.1 MÉTODOS DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA CON LODOS

Las tecnologías de conversión de energía de enfoque se han resaltado en la Figura 1, que muestra las vías de conversión del lodo en gas de síntesis, combustible líquido, productos químicos, calor y / o electricidad.



**Figura 1. Rutas potenciales de recuperación de energía con lodos**

Fuente: (Mulchandani & Westerhoff, 2016).

La conversión termoquímica tal como la combustión se caracteriza por un corto tiempo de reacción que va de segundos a minutos. Desafortunadamente este proceso requiere lodos con un bajo contenido de humedad, y el secado de los lodos requiere enormes cantidades de energía.

La incineración es un prominente proceso actualmente en uso para el manejo de lodos, pero la práctica tradicional no estaba orientada a la recuperación de energía sino para reducir el volumen y para la destrucción de elementos peligrosos.

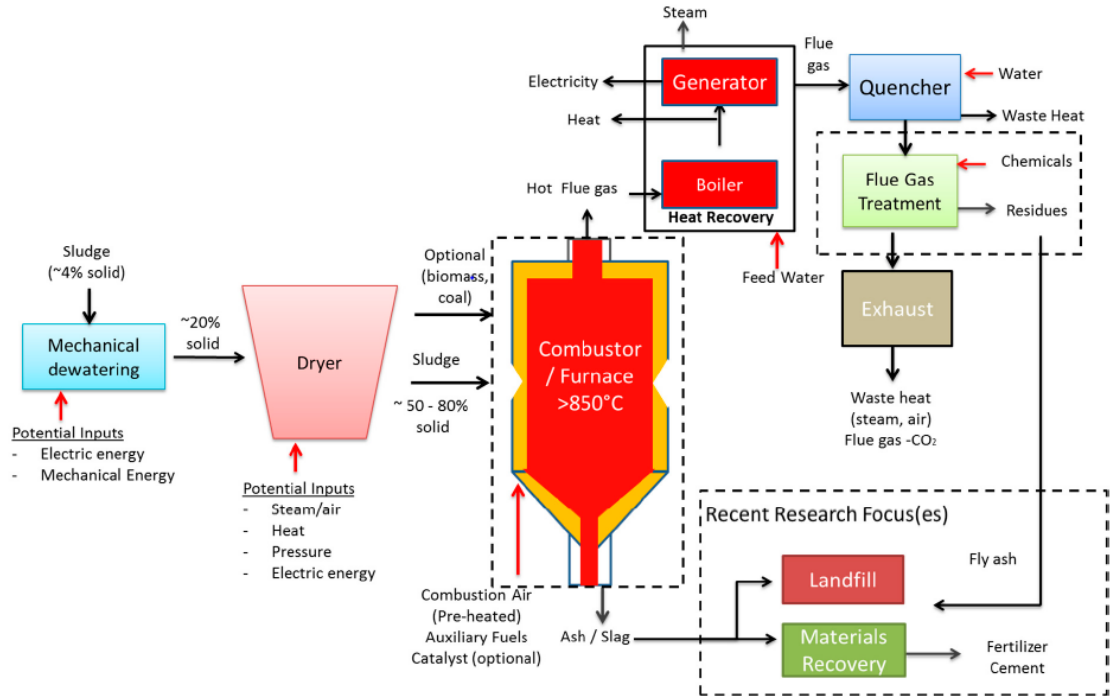
La incorporación de recuperadores de calor convierte un incinerador tradicional en un típico sistema de combustión con aprovechamiento de calor. El calor extraído es usado para

calentar fluidos, generalmente agua, la cual puede ser utilizada para calentar directamente o para generar electricidad a través de una turbina de vapor.

#### 2.1.1.2 COMBUSTIÓN

La combustión de todos los combustibles sólidos es similar a la de los lodos. Implica alta temperatura de combustibles para obtener calor, dióxido de carbono, vapor de agua y otros gases. El uso de las tecnologías de combustión para desechos como lodos pueden usarse principalmente para generar calor (combustión convencional) o para reducir el volumen de los materiales de desecho (incineración).

El uso convencional del calor generado por la tecnología de combustión es para calentar o para generar energía eléctrica a través de motores térmicos, mientras que los sistemas de incineración pueden o no utilizar el calor generado por la combustión, ya que su propósito principal es quemar los elementos nocivos de los desechos antes de la disposición final o reutilización de cenizas residuales en la industria de la construcción. Esto se debe a que la incineración se ha observado que reduce hasta un 90% del volumen de lodo. (Wu, Lin, Huang, & Chen, 2016)



**Figura 2. Representación esquemática de la combustión de lodos.**

Fuente: (Oladejo, Shi, Luo, Yang, & Wu, 2018)

### 2.1.2 ANÁLISIS DEL MICROENTORNO

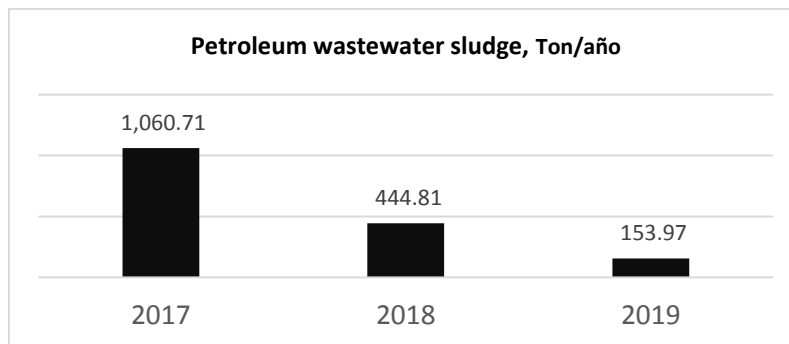
La oferta total de energía primaria en Honduras ronda los 4,62 Mtoe o 53.730,6 GWh. La principal fuente de energía primaria es el petróleo (53%), seguida de los combustibles renovables y residuos (44%) y el carbón (3%). El consumo de energía residencial ronda el 47% del consumo nacional, del cual el 86% proviene de biomasa, principalmente leña. (IEA, 2010)

La generación bruta de electricidad de la red nacional (Sistema Interconectado Nacional –SIN) ronda los 6.539 GWh, de los cuales 53% son centrales de petróleo, 42% centrales hidroeléctricas, 1% centrales de carbón, 1% gas y 3% cogeneración. (IEA, 2010)

El gobierno de Honduras se encuentra en la aprobación para la adquisición de un proyecto de energía a partir de residuos en la ciudad costera atlántica de La Ceiba. El presidente Juan Orlando Hernández firmaría un decreto para lanzar el proyecto y que generaría hasta 6MW de energía. Un equipo técnico estaba preparando los estudios para el proyecto y gran parte de ellos, incluidos los aspectos financieros, ya habían sido revisados.

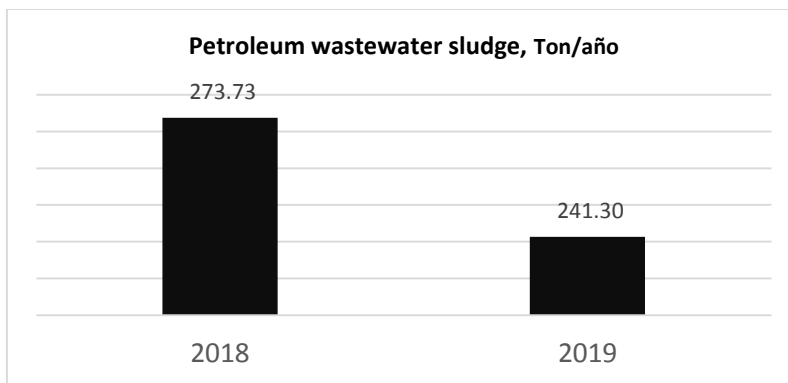
### 2.1.3 ANÁLISIS INTERNO

El parque energético en estudio se compone de dos plantas de generación de energía eléctrica a base de HFO, siendo la planta 2 la más grande en cuanto a capacidad instalada en comparación con la Planta 1. Ambas plantas cuentan con un sistema para la purificación o separación del combustible bunker que alimenta los motores de combustión, los cuales generan la cantidad de desechos en lodos de HFO y LO según se describen en las figuras 3, 4 y 5.



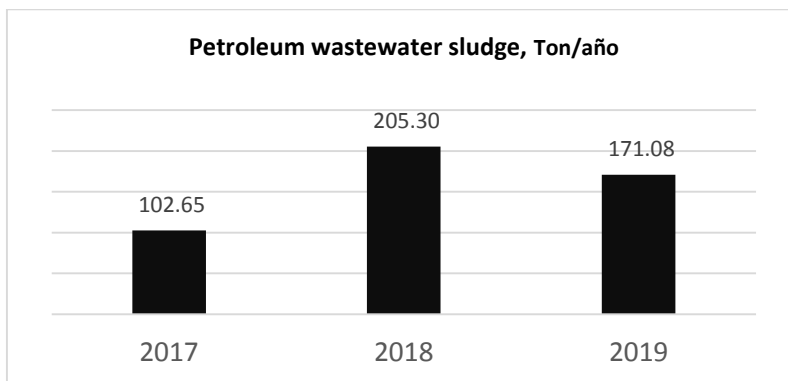
**Figura 3. Residuos Bituminosos, transferencias internacionales - Planta 1**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 4. Residuos Bituminosos, transferencias internacionales - Planta 1**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 5. Residuos Bituminosos, transferencias internacionales - Planta 2**

Fuente: Elaboración propia

Actualmente los desechos son aprovechados por terceras organizaciones, internacionales y nacionales, las cuales se encargan del tratamiento de los lodos y su posterior disposición. Las Plantas 1 y 2 asumen los costos de transporte. Ni la Planta 1, ni la Planta 2 cuentan con la tecnología para la incineración de los lodos y la recuperación de energía a través de la combustión de los mismos; sin embargo, tienen instalado un grupo de tanques de almacenamiento específico para los lodos, tuberías que conforman un útil sistema de calentamiento por vapor y un completo montaje instalado para la cogeneración de energía eléctrica aprovechando el calor de los gases de escape en los motores de combustión.

## 2.2 TEORÍAS DE SUSTENTO

### 2.2.1 TEORÍA DE FACTIBILIDAD

Para Baca Urbina (2013), la Teoría de la Factibilidad abarca todas aquellas cuestiones que tienen que ver con la realización esencial de un proyecto en cuanto a sus puntos básicos. Factibilidad se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señalados. Generalmente la factibilidad se determina sobre un proyecto.

Teorías

La Factibilidad se refiere a que un proyecto que se tenga en mente, pueda llevarse a cabo, es decir, pueda materializarse. La factibilidad puede ser clasificada en: Operativa, Técnica y Económica.

- 1) La Factibilidad Operativa está determinada por la disponibilidad de todos los recursos necesarios para llevar adelante un proyecto. Por ejemplo, encontrar quienes serían los proveedores de los principales recursos necesarios para el proyecto, como armarías el depósito para los productos, etc.
- 2) La Factibilidad Técnica está relacionada con encontrar las herramientas, los conocimientos, las habilidades y las experiencias necesarias y suficientes, para hacer que el proyecto sea exitosamente realizado.
- 3) La Factibilidad Económica surge de analizar si los recursos económicos y financieros necesarios para desarrollar las actividades pueden ser cubiertos con el capital del que se dispone, y en su caso, realizar el estudio financiero correspondiente para captar capital de terceros.

También son importantes dos aspectos: el legal y el medio ambiente. Con relación al primero, existe en todo país un orden jurídico, marcado por la carta magna de cada estado o norma jurídica más importante (constitución nacional), los tratados internacionales

reconocidos por el órgano legislativo, de cada estado y el resto de las normas inferiores de carácter legislativo (leyes nacionales y provinciales) o reglamentario (decretos nacionales y provinciales), como así también toda otra norma que reglamente una actividad (resoluciones de entidades públicas, autárquicas o no, reguladores de alguna actividad como así mismo lo normado por los municipios y comunas.)

Todo el orden jurídico, con relación a un proyecto, puede prohibir su realización, o limitar, regular, predeterminar, la ejecución de ciertas actividades.

En cuanto al medio ambiente, el mismo es el medio que permite el desarrollo del proyecto, desde la visión holística del proyecto inserto en su medio, donde requerirá entradas, que luego del proceso que es el proyecto en sí, producirá salidas, positivas y negativas hacia el medio, el cual, evaluará la conveniencia o no, de mantener vivo este proyecto produciendo el efecto de la retroalimentación.

En cualquier caso, es importante que las salidas positivas sean mayores que las negativas. En cuanto a las negativas en sí, que pueden ser residuos o desechos que produzca el proyecto, es importante controlar, minimizar los efectos negativos, y en el mejor de los casos, convertir los efectos negativos en efectos positivos. Esto permitirá, que el proyecto sea considerado necesario e importante para el medio ambiente que lo rodea.

## 2.2.2 TEORÍA DE IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS WTE

Según Rogoff y Screve, 2012, El éxito en la implementación de un proyecto WTE descansa primeramente en los siguientes elementos claves:

- 1) Una razón o necesidad para el proyecto debido un problema o crisis en la disposición de desechos sólidos.



- 2) Una agencia gubernamental o desarrollador de proyectos con un sincero compromiso político y capacidad para abordar el proyecto.
- 3) Una adecuada fuente de generación de desechos para el proyecto que asegure la transferencia controlada o atraiga las cantidades de otros lugares.
- 4) Mercado para recuperación de energía y recuperación de materiales; y
- 5) Un sitio para el proyecto que se ambiental, técnica, social y políticamente aceptable.

### 2.2.3 LEYES DE LA TERMODINÁMICA

#### 2.2.3.1 PROPIEDADES TERMODINÁMICAS

Según Cengel (2012), para la mayor parte de las sustancias, las relaciones entre propiedades termodinámicas son demasiado complejas para expresarse por medio de ecuaciones simples; por lo tanto, las propiedades suelen presentarse en forma de tablas. Algunas propiedades termodinámicas se miden con facilidad, pero otras no y deben calcularse a través de las relaciones que involucren propiedades medibles. Los resultados de estas mediciones y cálculos se presentan en tablas con un formato conveniente. En el siguiente análisis se utilizan tablas de vapor de agua para mostrar el uso de tablas de propiedades termodinámicas. Para otras sustancias, las tablas de propiedades se utilizan de la misma manera.

Para cada sustancia las propiedades termodinámicas se listan en más de una tabla, ya que se prepara una para cada región de interés, como las de vapor sobrecalentado, de líquido comprimido y de saturación (mezcla). Estas tablas se presentan en el apéndice del libro, tanto en unidades del SI como inglesas. Las que están en unidades inglesas tienen el mismo número que las correspondientes en el SI, seguidas de un identificador E. Las tablas A-6 y A-6E, por

ejemplo, contienen las propiedades del vapor de agua sobrecalentado, la primera en unidades del SI y la segunda en inglesas. Antes de iniciar la exposición de las tablas es conveniente definir una nueva propiedad llamada entalpía. Para consultar las tablas A-6 ver anexos 3. (Pág. 126).

#### 2.2.3.2 ENTALPÍA: UNA PROPIEDAD DE COMBINACIÓN

Según Cengel (2012), el extendido uso de la propiedad entalpía se debe al profesor Richard Mollier, quien reconoció la importancia del grupo  $u + Pv$  en el análisis de turbinas de vapor y en la representación de las propiedades del vapor de agua en forma tabular y gráfica (como en el famoso diagrama de Mollier). Mollier se refirió al grupo  $u + Pv$  como contenido de calor y calor total, términos que no eran muy congruentes con la terminología de la termodinámica moderna por lo que se sustituyeron en la década de los treinta por el término entalpía (de la palabra griega enthalpien que significa calentar). (Pág. 126).

#### 2.2.3.3 ESTADOS DE LÍQUIDO SATURADO Y DE VAPOR SATURADO

Según Cengel (2012), las propiedades de líquido saturado y de vapor saturado para el agua se enumeran en las tablas A-4 y A-5, las cuales proporcionan la misma información, pero con una única diferencia: en la A-4 las propiedades se enumeran a partir de la temperatura y en la A-5 por la presión. En consecuencia, es más conveniente utilizar la A-4 cuando se tiene la temperatura y la A-5 cuando se tiene la presión. Para consultar las tablas A-4 y A-5 ver anexos 1 y 2. (Pág. 127).

## 2.2.4 ENTREVISTA A EXPERTOS

Esta teoría establece que cuando hay temas que por ser poco estudiados no cuentan con una estructura previa y la información no es posible obtenerla en una investigación anterior se puede acudir a la opinión de expertos para desarrollar la investigación.

Según Hernández, Fernández & Baptista (2014) Temas ya investigados, pero menos estructurados y formalizados, sobre los cuales se ha investigado, aunque existen sólo algunos documentos escritos y otros materiales que reporten esta investigación; el conocimiento puede estar disperso o no ser accesible. De ser así, habría que buscar los estudios no publicados y acudir a medios informales, como expertos en el tema, profesores, amigos, etc. La internet constituye una valiosa herramienta en este sentido. (Pág. 29)

## 2.3 CONCEPTUALIZACIÓN

### 2.3.1. CALDERA:

En una instalación de calefacción, aparato dotado de una fuente de energía, donde se calienta el agua que circula por tubos y radiadores. (Carpintero, 2019)

### 2.3.2. COMBUSTIBLE:

Material que se emplea para producir energía en forma de calor mediante reacciones. (Alfa Laval, 2003)

### 2.3.3. COMBUSTIÓN:

Reacción química entre el oxígeno y un material oxidable, acompañada de desprendimiento de energía y que habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama. (Alfa Laval, 2003)

#### 2.3.4. ENERGÍA:

Capacidad para realizar un trabajo. (Carpintero, 2019)

#### 2.3.5. ENERGÍA TÉRMICA:

Energía en forma de calor, se manifiesta vía calor, pasa de un cuerpo más caliente a otro que presenta una temperatura menor. Puede ser transformada tanto en energía eléctrica como en energía mecánica. (Perez, 2019)

#### 2.3.6. HFO:

Siglas en inglés de “fuelóleo pesado” (Heavy Fuel Oil), combustibles para generar calor que tienen una alta viscosidad y densidad. (Alfa Laval, 2003)

#### 2.3.7. INCINERAR:

Reducir algo a cenizas. (Gonzalez Cardoso, 2003)

#### 2.3.8. KILOGRAMO

Unidad de medida de la masa. (Cengel & Boles, 2012)

#### 2.3.9. KILOJOULE

Unidad de medida de energía en el sistema internacional de medidas SI.

#### 2.3.10. LO:

Siglas en inglés de “aceite lubricante” (Lube Oil), aceite utilizado para la lubricación de máquinas. (Alfa Laval, 2003)

#### 2.3.11. LODOS:

Desecho espeso, blando y húmedo o una mezcla viscosa similar de componentes líquidos y sólidos, especialmente el producto de un proceso industrial o de refinación. (Alfa Laval, 2003)

#### 2.3.12. SEPARADORA:

Aparato que sirve para separar por medios físicos, generalmente fuerza gravitacional, una materia de otra. (Alfa Laval, 2003)

#### 2.3.13. VAPOR:

Fluido gaseoso cuya temperatura es inferior a su temperatura crítica. Su presión no aumenta al ser comprimido, sino que se transforma parcialmente en líquido; p. ej., el producido por la ebullición del agua. (Arien, 2017)

#### 2.3.14. WTE:

Siglas en ingles de “desechos a energía” (Waste to Energy), es el proceso de generar energía en forma de electricidad y / o calor a partir del tratamiento primario de desechos, o el procesamiento de desechos en una fuente de combustible. (Patil, Kulkarni, & Patil, 2014)

## 2.4 MARCO LEGAL

Como parte de la investigación se mencionan a continuación las leyes, reglamentos y normas que rigen el marco legal para el proyecto de instalación de un incinerador de lodos para la producción de vapor.

### 2.4.1 LEY GENERAL DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA DECRETO 404-2013.

Esta Ley modifica el subsector eléctrico del país, introduciendo el Mercado Eléctrico Nacional. Establece separación de actividades: generación, transmisión y distribución. Y crea el Regulador del subsector CREE. Establece al Operador del Sistema: Operar las instalaciones del SIN y Administrar el mercado.

### 2.4.2 LEY GENERAL DEL AMBIENTE DECRETO 104-93.

Uno de sus objetivos es implantar la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), para la ejecución de proyectos públicos o privados potencialmente contaminantes o degradantes; Y describe la creación y funciones de la Secretaría de Estado en el Despacho del Ambiente, responsable de: Cumplir y hacer cumplir la legislación ambiental de Honduras; de la formulación y coordinación global de las políticas nacionales sobre el ambiente; velar porque se cumplan esas políticas; y, de la coordinación institucional pública y privada en materia ambiental.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

El capítulo II planteó la teoría que se utiliza como base para el estudio y análisis de la viabilidad del proyecto. Este detallará los métodos, procedimientos y técnicas que harán posible el cumplimiento de los objetivos que se plantearon para el estudio.

### **3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA**

En esta sección se desarrollan los instrumentos metodológicos para conocer la relación lógica entre las variables y la hipótesis planteada.

#### **3.1.1 MATRIZ METODOLÓGICA**

Para lograr diseñar de forma general la investigación se formula la siguiente matriz metodológica:

**Tabla 1. Matriz Metodológica.**

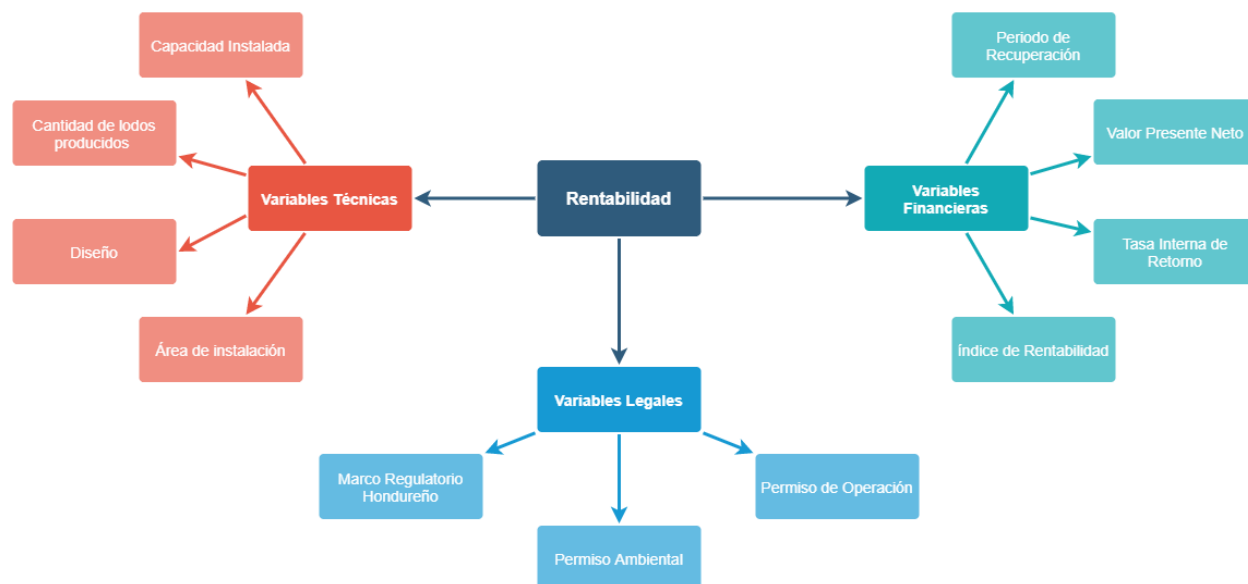
| TITULO   | PROBLEMA  | PREGUNTAS DE INVESTIGACION  | OBJETIVO GENERAL  | OBJETIVO ESPECIFICO  | VARIABLE INDEPENDIENTE  | VARIABLE DEPENDIENTE |
|--|---|---|---|--|-------------------------|----------------------|
| Análisis costo-beneficio en instalación de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas para generar vapor plantas térmicas cortes, honduras, 2020.. | ¿Es viable económicamente la implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras, San Pedro Sula, desde la perspectiva técnica, medio ambiental, económica y legal? | ¿Cuáles son los requerimientos técnicos que se necesitan para la implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras, San Pedro Sula? | Determinar la factibilidad de implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras, San Pedro Sula desde la perspectiva técnica, medio ambiental, económica y legal. | Establecer los aspectos técnicos requeridos para la implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras, San Pedro Sula.   | Evaluación técnica      | Viabilidad           |
|  |   | ¿Cuál es el marco legal y medio ambiental en la implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras, San Pedro Sula?                  |   | Determinar el marco legal hondureño y el impacto medio ambiental para determinar permisos necesarios para implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras, San Pedro Sula. | Marco Legal y Ambiental |                      |
|  |   | ¿Cuáles son los recursos económicos requeridos para la implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras, San Pedro Sula?           |   | Elaborar un análisis económico que permita evaluar la implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras, San Pedro Sula.   | Evaluación Financiera   |                      |

Fuente: Elaboración propia.



### 3.1.2 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

La operacionalización de las variables se refiere a definir las variables dependientes e independientes de una forma esquemática y lógica, describiendo las escalas atributos y características que poseen ambas variables.



**Figura 6. Identificación de variables**

Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 se observa el diagrama de la identificación de las variables que está definido para este estudio, donde se detallan los aspectos en que se divide cada variable independiente.

Con el estudio técnico se verificará que la tecnología sea pertinente en la implementación del proyecto de instalación de un incinerador para lodos en las plantas térmicas, el estudio técnico validará las especificaciones técnicas para los costos de instalación y operación, y en el estudio financiero se analizarán los indicadores que determinarán la rentabilidad de la investigación. Se presenta a continuación la tabla de operacionalización de las variables, la definición conceptual y operacional, y las dimensiones.

**Tabla 2. Operacionalización de Variables.**

| Variable independiente | Definición  |   | Dimensión                    | Indicador                                     | Preguntas  | Respuestas                                  | Escala |
|------------------------|---|---|------------------------------|---|--|---|--------|
|                        | Conceptual  | Operacional   |                              |   |  |   |        |
| Técnico                | Estudio que proporciona información que sirve de apoyo para la toma de decisiones, la cual está encaminada a determinar si las condiciones del mercado no son un obstáculo para llevar a cabo el proyecto | Características promedio en precio y calidad                                    | Precio<br>Garantía           | Lempiras                                      | ¿Cuál es el equipo apropiado para incineración de lodos? | Cumplimiento de la relación Costo/Beneficio | 1      |
|                        | Investigación que consta de determinación del tamaño óptimo de la planta, determinación de la localización óptima de la planta, ingeniería del proyecto y análisis organizativo, administrativo y legal   | Especificaciones mínimas para asegurar la instalación y operación del proyecto. | Capacidad instalada          | Potencia generada                             |  | Kilowatts (kW)                              | 1      |
|                        |   |   | Cantidad de lodos producidos | Volumen de lodos                              | ¿Qué cantidad de lodos es necesaria?                     | Toneladas por mes                           | 1      |
|                        |   |   | Diseño                       | Por Ciento Deseado de Recuperación de Energía | ¿Qué aplicación es más conveniente?                      | RE%   | 1      |
|                        |   |   | Área de instalación          | Localización del incinerador                  | ¿Cuál es el área disponible?                             | Metro cuadrado                              | 1      |
| Financiero             | Ordenamiento y sistematización de la información de carácter monetario y elaboración de los cuadros analíticos que sirven de base para la evaluación económica  | Condiciones económicas para la rentabilidad del proyecto.                       | Alcance del proyecto         | Costos  | Costo financiero   | Costo de capital                            | 1      |
|                        |   |   |                              |   | Costo administrativo                                     | Costo de mantenimiento                      |        |
|                        |   |   |                              | Inversión inicial                             | Equipo de instalación                                    | Incinerador Caldera Estructura              | 1      |
|                        |   |   |                              | Variabilidad de efectivo                      | Estados financieros                                      | Balance general                             | 1      |
|                        |   |   |                              | Análisis de rentabilidad                      | Sensibilidad financiera                                  | VAN<br>TIR<br>Análisis de sensibilidad      | 1      |

**Continuación de Tabla 2.**

|                     |  |   |       |                |  |  |   |
|---------------------|--|---|-------|----------------|--|--|---|
| Legal/<br>Ambiental | En el marco legal se encuentran las provisiones regulatorias y leyes pertinentes a un fin. | Cumplimiento legal en la apertura y funcionamiento del negocio. | Legal | Requerimientos | ¿Cuáles son los aspectos legales para la apertura de esta empresa? | Cantidad de requisitos en cumplimiento | 1 |
|---------------------|--|---|-------|----------------|--|--|---|

Fuente: Elaboración propia.

**3.1.3 HIPÓTESIS**

Según lo describe Hernández Sampieri, Fernández y Collado (2010), las hipótesis son las guías para una investigación o estudio. Las hipótesis indican lo que tratamos de probar y se definen como explicaciones tentativas del fenómeno investigado. Se derivan de la teoría existente (Williams, 2003) y deben formularse a manera de proposiciones. De hecho, son respuestas provisionales a las preguntas de investigación.

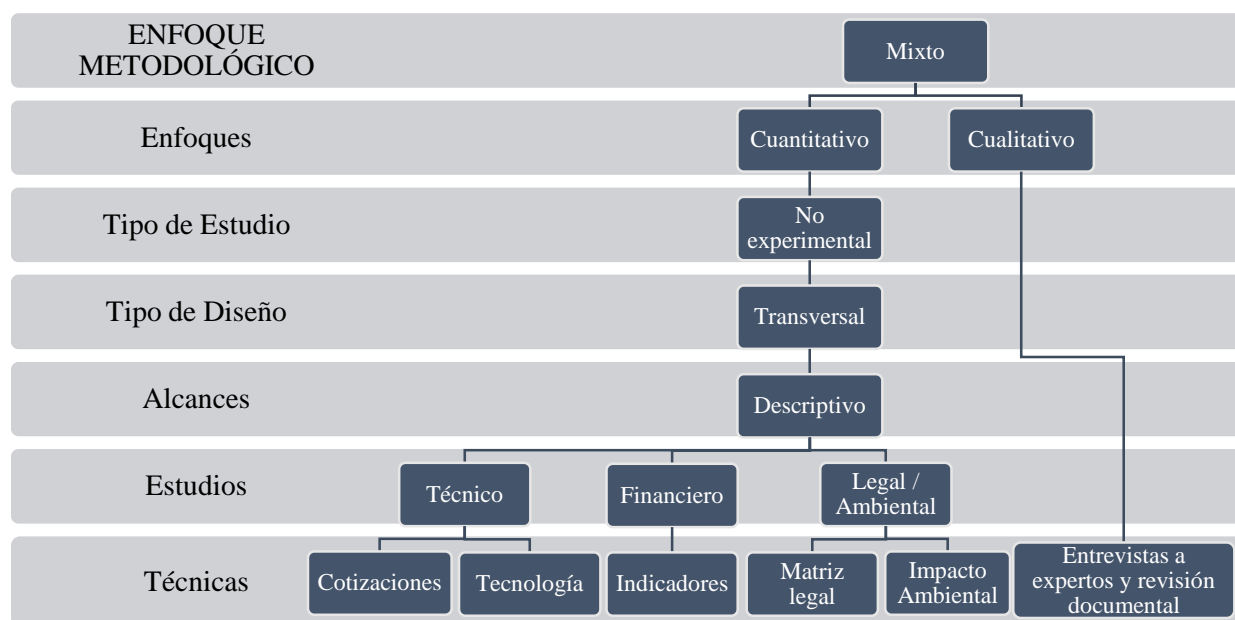
Siguiendo ese concepto, para nuestra investigación definimos la siguiente hipótesis de Investigación y la hipótesis nula que nos ayudaran a confirmar la factibilidad en la instalación del incinerador de nuestro proyecto:

Hi: El proyecto de instalación de un incinerador de lodos HFO/LO para generación de vapor es viable con una tasa interna de retorno mayor a la tasa del costo de capital de la empresa.

Ho: El proyecto de instalación de un incinerador de lodos HFO/LO para generación de vapor no es viable con una tasa interna de retorno menor o igual a la tasa del costo de capital de la empresa.

### 3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS

El estudio que se realiza utiliza un enfoque mixto para la investigación, debido a que es importante los aspectos cuantitativos como los cualitativos para lograr un mejor entendimiento del proyecto. Según Hernández Sampieri y Mendoza (2008), los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (metainferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio.



**Figura 7. Enfoque metodológico.**

Fuente: Elaboración propia.

La figura 7 describe el enfoque mixto que se está manejando en esta investigación, el enfoque dominante es el cuantitativo y esto se refleja también al plantear la hipótesis de investigación en la que se esperan resultados financieros medibles a través de indicadores numéricos y estadísticos, esta investigación tiene un alcance No Experimental porque no se manipulan las variables, también es de tipo transversal porque los datos fueron recolectados en un único momento. Dentro del diseño transeccional el alcance es de tipo descriptivo porque busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos,

comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis, y en este caso en común se enfoca en especificar las variables independientes: mercado, técnico, financiero y legal, que se describirán en estudios separados.

En el estudio técnico, donde se analizará la mejora en el sistema de vapor en la planta térmica, se fundamenta mediante la información obtenida por medio de entrevistas a expertos, observaciones y aplicando la parte cualitativa a través de la una teoría fundamentada.

### 3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Con el propósito de visualizar de manera práctica y concreta para contestar las preguntas de investigación y cumplir con los objetivos fijados, el investigador debe establecer el diseño de investigación que es el plan o estrategia para obtener la información que se desea con el fin de responder al planteamiento del problema (Hernández, Fernández & Baptista, 2014, p.128). El diseño de esta investigación desde el enfoque cuantitativo es no experimental, puesto que este tipo de investigación se realiza sin manipular deliberadamente variables, no se hace variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables, lo que se hace en una investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para luego analizarlos (Hernández, Fernández & Baptista, 2014, p.152). En esta investigación se observarán los fenómenos relacionados al consumo vapor, producción de desechos sólidos y la obtención provista de energía a través de la instalación de incinerador para las plantas térmicas.

#### 3.3.1 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población de la investigación corresponde al parque energético, compuesto de la Planta 1 y la Planta 2 de generación térmica a base de HFO.

Generalmente para la mayoría de las investigaciones se realiza un estudio de la población valiéndose de muestras. Para el caso de nuestra investigación no es aplicable, debido a que la estudio está orientado en la producción de vapor provista de la instalación de un incinerador para desechos de combustibles, lo que representará un ahorro en el consumo de energía para la generación de vapor y también permitirá una mejor disposición de los desechos. En la investigación no se excluye ningún elemento de la misma, por lo cual es innecesario tomar una muestra representativa de la población. Ya que la investigación abarca todo el universo de estudio.

### 3.3.2 UNIDAD DE ANÁLISIS Y RESPUESTA

La unidad de análisis es el sistema de vapor instalado en planta y su mejor con la instalación de incinerador para lodos, el cual se reforzará mediante el Estudio de Mercado, el Estudio Técnico, el Estudio Financiero y el Estudio Legal.

La unidad de respuesta es lo que se quiere adquirir con la unidad de análisis, así que se espera obtener la viabilidad económica del proyecto de inversión a realizar desde una perspectiva técnica y financiera.

## 3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Con la finalidad de recolectar datos se dispone de los siguientes instrumentos o técnicas, tanto cuantitativas como cualitativas.

### 3.4.1 INSTRUMENTOS

Según Grinnell, Williams y Unrau (2009), Un instrumento de medición adecuado es aquel que registra datos observables que representan verdaderamente los conceptos o las variables que el investigador tiene en mente. El instrumento utilizado para recolectar datos cualitativos fueron las entrevistas a expertos. Los instrumentos usados para la recolección de datos cuantitativos son los siguientes:

1. Calculo matemáticos.
2. Hojas de cálculo de Excel.
3. Cuestionario Abierto.

### 3.4.2 TÉCNICAS

El propósito de las técnicas de investigación es la obtención de datos necesarios para el estudio del problema objeto de investigación.

1. Revisión de documentos
2. Observación directa
3. Entrevista a expertos

### 3.4.3 PROCEDIMIENTOS

Las técnicas e instrumentos se eligieron de acuerdo a un enfoque que pueda ser concluyente en relación a un enfoque cuantitativo en el análisis de los datos disponibles para el desarrollo de esta investigación.

**Tabla 3. Procedimientos.**

| Estrategia  | Actividades  | Recursos  |         | Tiempo de Ejecución.  | Responsable                             |
|---|--|---|---------|-----------------------|---|
|   |  | Materiales  | Humanos |                       |   |
| Identificar todos los históricos de consumos he información necesaria para los cálculos Financieros.. | 1. Informes de consumo de HFO/LO del 2017 al 2020.<br>2. Informes de Producción de HFO/LO al 2020.<br>3. Información relacionada a costos de manejo de los lodos HFO/LO.<br>4. Contactar a proveedores y solicitar cotizaciones. | Laptop<br>Internet<br>Papel<br>Lápiz<br>ZOOM<br>Outlook |         | 09 al 15 de Noviembre | Byron<br>Menjivar<br>Moisés<br>Membreño |
| Realizar Entrevista a Expertos  | 1. Realizar entrevista a experto en manejo de Lodos Ing. Nelson Varela.<br>2. Entrevista a experto en calderas y sistemas de vapor Marco tulio Lagos.  | Laptop<br>Internet<br>Papel<br>Lápiz<br>ZOOM<br>Outlook |         | 16 al 30 de Noviembre | Byron<br>Menjivar<br>Moisés<br>Membreño |
| Elaborar reporte de los resultados de la investigación.   | 1. Elaborar reporte de los resultados de la investigación.<br>2. Formular conclusiones y recomendaciones de la Investigación   | Laptop<br>Internet<br>Papel<br>Lápiz<br>ZOOM<br>Outlook |         | 7 al 18 de Diciembre. | Byron<br>Menjivar<br>Moisés<br>Membreño |

Fuente: Elaboración propia.



### 3.5 FUENTES DE INFORMACIÓN

De acuerdo con Hernández, Fernández & Baptista (2014), las fuentes de información son aquellas que proporcionarán datos históricos y actuales sobre los cuales se puede hacer proyecciones en un futuro cercano. Sirven para identificar patrones de tendencia o estacionalidad. Las fuentes de información pueden clasificarse en fuentes internas y externas, cada una de las cuales se subdivide a la vez en primarias y secundarias.

#### 3.5.1 FUENTES PRIMARIAS

Las fuentes de información primarias utilizadas en la investigación para la obtención de datos de primera mano son los obtenidos directamente de las plantas térmicas, como ser históricos de desechos de sólidos, producción de vapor y consumo de energía.

#### 3.5.2 FUENTES SECUNDARIAS

Las fuentes de información secundaria utilizadas para la investigación cuentan con

1. Libros de texto, tesis y artículos consultados en internet.
2. Publicaciones en revistas y diarios nacionales relacionados al tema de investigación.
3. Portales de páginas de internet de instituciones del Estado de Honduras.
4. Libros, informes y estudios sobre recuperación de energía y combustión de desechos sólidos.

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS**

### **4.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA**

#### **4.1.1 BREVE DESCRIPCIÓN HISTÓRICA**

La planta 2 inició sus operaciones en Honduras sólo a nivel de administración de planta, para luego presentar la oportunidad de instalar y administrar su propia planta operando en óptimas condiciones y cumpliendo con todos los indicadores solicitados por el cliente hasta la fecha.

Planta 1 inicia sus operaciones después de Planta 2 como parte de una licitación de emergencia para entregar energía y estabilizar la red eléctrica nacional, operando en óptimas condiciones y cumpliendo con todos los indicadores solicitados por el cliente hasta la fecha

#### **4.1.2 PRODUCTOS QUE ELABORA O SERVICIOS QUE OFRECE**

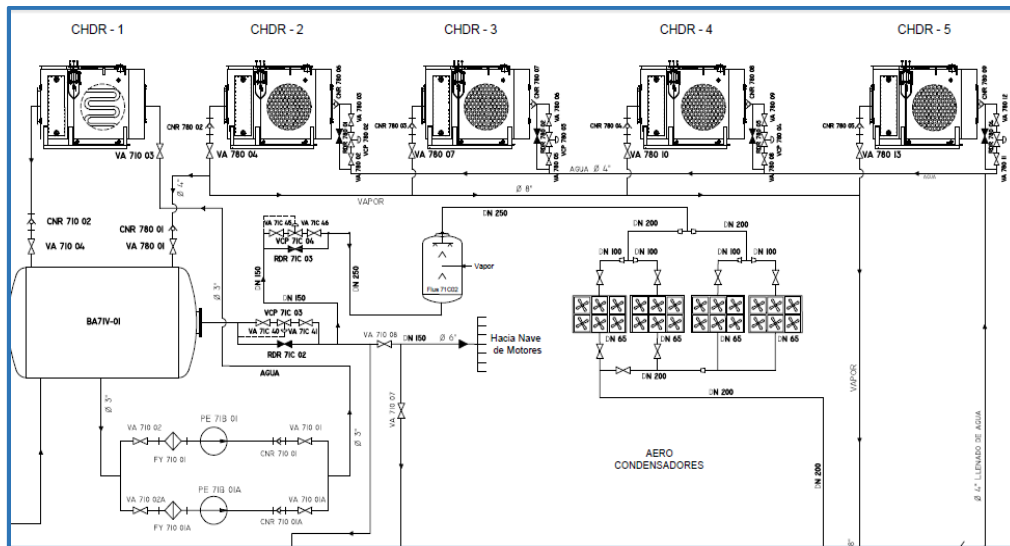
Tanto planta 1 como planta 2 son generadoras de energía eléctrica y lo hacen en dos fases, la primera es conversión de energía por medio de motores que funcionan con diésel marino y bunker, en la segunda etapa de producción de energía lo hacen por medio del vapor. Para las plantas térmicas el vapor es un recurso muy valioso y se obtiene aprovechando las altas temperaturas de los gases de la combustión de combustible pesado HFO/LO que se hacen pasar por medio de tuberías hacia unas calderas donde se da el intercambio de energía de los gases de escape hacia el agua produciendo vapor en el proceso, el mismo es enviado mediante tuberías hacia una turbina de cogeneración en donde, se aprovecha la presión del vapor para inducir movimiento en la turbina que a su vez mueve un generador de energía eléctrica, dicha turbina genera hasta 12MW con el vapor obtenido debido al calentamiento del agua por medio de los gases de escape producidos en el proceso de generación de energía eléctrica.

## 4.2 PROCESO ACTUAL

### 4.2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

Actualmente el proceso de generación de vapor para equipos auxiliares se genera de dos formas, mediante una caldera de vapor auxiliar la cual funciona con HFO y solo se enciende en caso de las planta principal este parada y la segunda manera es de manera directa con calderas que están conectadas a la salida de los gases de escape, estas calderas mediante principio de transferencia de calor, absorben la temperatura de los gases de escape y lo transfieren al agua el cual se convierte en vapor para alimentar sistema auxiliares de la planta y también para generar energía con una turbina de vapor.

En la figura 8 se puede ver cada una de las 5 calderas que integran el sistema principal de generación de vapor.

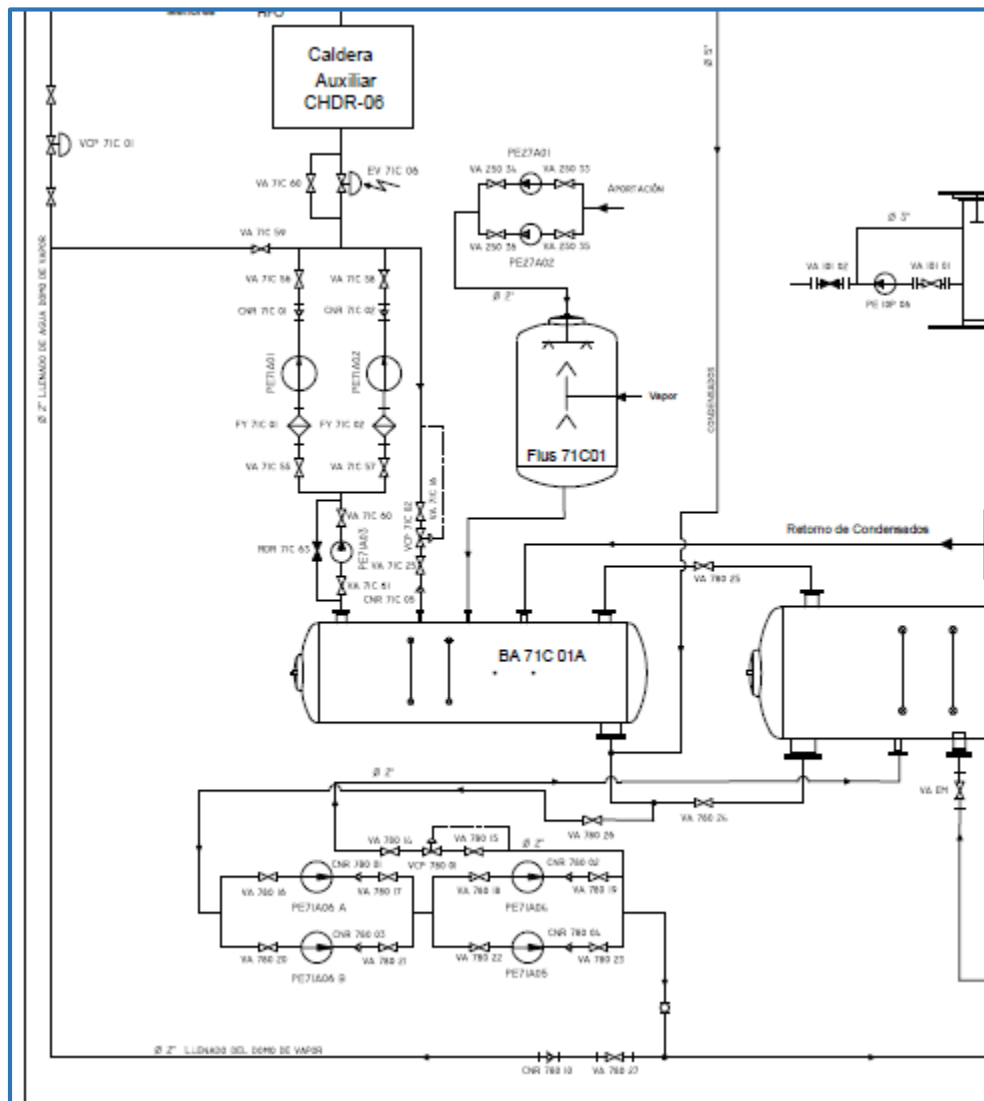


**Figura 8. Calderas Principales de Vapor Planta 2.**

Fuente: Plantas Térmicas de Honduras

## 4.2.2 DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

La distribución de la planta 2 para la generación de vapor es como se puede observar en la figura 9, básicamente es la caldera de recreación de vapor y un conjunto de tuberías que llevan el vapor producido a cada uno de los equipos auxiliares en la planta a fin de dar condiciones para la generación de energía en las unidades principales.



**Figura 9. Distribución Plata 2 Generación de Vapor.**

Fuente: Fuente: Plantas Térmicas de Honduras.

#### 4.2.3 MAQUINARIA Y EQUIPO

Para el sistema que se propone la mejora en su proceso el equipo más relevante es la caldera auxiliar la cual funciona mediante inyección de HFO, este combustible pasa por un sistema de inyección el cual introduce el combustible a la caldera haciéndolo pasar por un arco eléctrico que enciende combustible para que libere su energía calórica en el hogar de la caldera.

#### 4.2.4 MATERIA PRIMA/INSUMOS

La materia prima que se implementa para la generación de vapor con la actual caldera auxiliar es el bunker conocido por sus siglas en inglés como HFO, este combustible se caracteriza por ser altamente viscoso por lo que si no mantienen las condiciones de temperatura adecuadas se obstruyen continuamente los sistemas de inyección de la caldera auxiliar lo que ocasiona en algunas ocasiones tiempos de indisponibilidad del equipo.

#### 4.2.5 MANEJO DE MATERIALES

Todos los productos derivados de la creación conocidos como lodos HFO/LO son llevados mediante drenajes a un sistema llamado sistema de aguas oleosas en donde durante la primera etapa se separan los lodos del agua mediante principio de decantación.

Una vez se ha decantado el producto este pasa a una última etapa en donde se le agregan unas sustancias floculantes que ayudan en la separación del lodo con el agua y de esta manera se termina de limpiar el agua para poder devolverla al sistema de aguas residuales común previo haya pasado las pruebas de partículas suspendidas en cumplimiento con los requerimientos legales establecidos por ley.

#### 4.2.6 ANÁLISIS DE PERSONAL

En la planta 1 como en la planta 2 se cuenta con personal altamente calificada para operar y dar mantenimiento a todos los equipos de generación de vapor por lo cual al realizar la instalación del incinerador propuesto se cuenta con más de 30 años de respaldo en el campo.

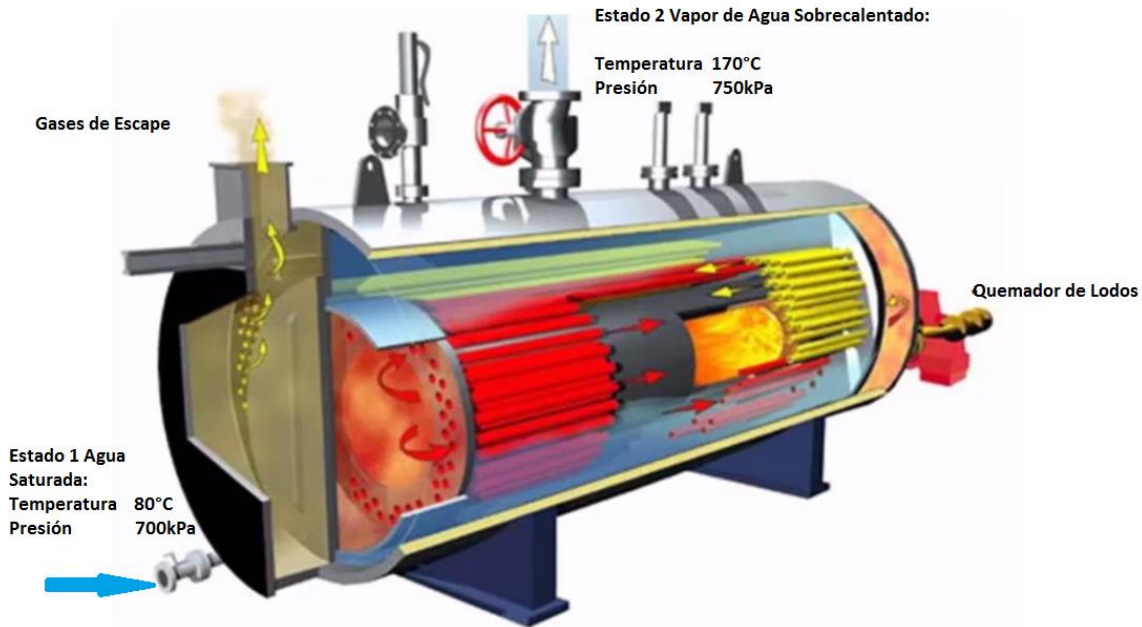
Se cuenta tanto con personal especializado en área de instalaciones eléctricas, montaje y obra civil, mecánicos y operadores de equipos industrial con una amplia experiencia en el rubro.

### 4.3 MÉTODO DE MEDICIÓN A SER APLICADO

#### 4.3.1 JUSTIFICACIÓN

A continuación, se van a realizar los cálculos que justifican el proyecto en donde por medio del uso de cálculos teóricos basados en estudios ya realizados de procesos químicos del agua se pretende demostrar que se puede lograr beneficio económico con un incinerador de lodos HFO/LO en la planta 2.

### 4.3.2 CONVERSIÓN DE ENERGÍA CALORÍFICA.



**Figura 10. Generador de Vapor.**

Fuente: (Carpintero, 2019)

En la figura 8 se aprecian los datos con las condiciones del sistema que van a ser analizadas con el fin de verificar si es posible teóricamente lograr un beneficio significativo de incinerar Lodos HFO/LO para obtener vapor para los equipos auxiliares en la planta. En la figura 8 se encuentran los datos que necesitamos para realizar los cálculos matemáticos, la fórmula y tablas que sustentan los cálculos fueron tomados del libro de Termodinámica de Yunes A. Cengel y Michael A. Boles séptima edición. (Cengel & Boles, 2012)

Fórmula:

$$n = \frac{Mv * (h2 - h1)}{Msl * LHV}$$

$$Msl = \frac{Mv * (h2 - h1)}{n * LHV}$$

Donde:

$n = \text{Eficiencia de la maquina de la maquina.}$

$Mv = \text{masa del vapor.}$

$Msl = \text{masa del lodo.}$

$h1 = \text{Estado 1, entalpia 1.}$

$h2 = \text{Estado 2, entalpia 2.}$

$LHV = \text{Energía calorifica.}$

$$Msl = \frac{2035 \text{ KG/H} * (2768.3 \text{ KJ/KG} - 335.02 \text{ KJ/KG})}{0.8 * 32820 \text{ KJ/KG}}$$

$$Msl = 189 \text{ KG/H}$$

Para determinar h1 y h2 se hizo uso de las tablas A4, A5 y A6 del libro de termodinámica Séptima edición de Yunes A. Cengel y Michale A. Boles, en donde basados en esta teoría para h1 se considera es agua saturada y para h2 se considera que es vapor sobrecalentado.

Realizando el análisis de los resultados se puede concluir que se requieren 189 kilogramos de lodo HFO/LO por hora para poder generar 2035 kilogramos de vapor de agua por hora. Verificando históricos de consumos de vapor en planta 2 se determina que se requiere alimentación de vapor 13 horas diarias por lo cual los cálculos deben tomar en consideración este factor de operación. Para mayor detalle podemos evaluar la tabla 4.



**Tabla 4. Cálculos Teóricos.**

| DATOS DEL PROYECTO                           |                   |
|--|-------------------|
| VARIABLES                                    | CANTIDAD          |
| Mv KG/H                                      | 2035              |
| h1 KJ/KG                                     | 335.02            |
| h2 KJ/KG                                     | 2768.3            |
| n  | 80%               |
| LHV sludge KJ/KG                             | 32820             |
| Lodos Planta 2 Internacional KG              | 171080            |
| Lodos Planta 1 Internacional KG              | 153970            |
| Lodos Planta 1 nacional KG                   | 241300            |
| Total Lodos KG                               | 566,350.00        |
|  |                   |
| Msl KG/H                                     | 189               |
| Total Horas                                  | 3003              |
| Total días anual                             | 231               |
|  |                   |
| Galones lodos Almacenados                    | 3442,690.37       |
| Densidad sludge HG/M3                        | 1400.00           |
| Msl KG                                       | 566350            |
| Pago anual por llevarse el lodo en lempiras  | L.<br>2548,575.00 |
| Pago anual por llevarse el lodo en dólares   | \$<br>104,023.47  |
| Pago por llevarse el lodo mensual en dólares | \$<br>11,558.16   |

Fuente: Elaboración propia.

Basados en los cálculos operativos realizados se define que se puede mantener operativo el incinerador durante 231 días con un factor de uso de 13 horas diarias. A continuación, se presentan datos de consumos mensuales de combustible bunker con sus costos asociados, dados los cálculos podríamos generar vapor por 8 meses en el año a partir de incineración de lodos.

### 4.3.3 APLICACIÓN

Una vez contando con los cálculos que validan de forma teórica, basados en las teorías de sustento que se puede aprovechar la energía calórica aún contenida en los lodos HFO/LO se puede proceder a realizar el cálculo de las variables financieras que darán el respaldo necesario para demostrar la viabilidad económica del proyecto.

**Tabla 5. Plan de Inversión Flujos de Efectivo.**

| <b>PROYECCIÓN DE AHORROS INCINERADOR DE LODOS HFO/LO</b> |                      |                      |                      |                      |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>PRODUCTO</b>  | <b>Año 1</b>         | <b>Año 2</b>         | <b>Año 3</b>         | <b>Año 4</b>         |
| <b>Proyección Ahorro anual</b>                           | \$ 232,787.63        | \$ 209,519.61        | \$ 248,901.60        | \$ 225,301.78        |
| <b>VENTAS TOTALES</b>                                    | <b>\$ 232,787.63</b> | <b>\$ 209,519.61</b> | <b>\$ 248,901.60</b> | <b>\$ 225,301.78</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Los flujos de las proyecciones anuales aquí mostradas surgen de varios componentes, el consumo de combustible HFO, el consumo de diésel vinculado a la caldera a sustituir y una tercera componente que sería el dinero que dejaríamos de pagarle a terceros por darle la disposición final a los lodos. Para más detalle consultar anexo 4, anexo 5, anexo 6 y anexo 7.

Basados en información proporcionada por un Experto de la planta 2 que estuvo tratando de respaldar este proyecto anteriormente, se obtuvo información de una cotización de un incinerador con capacidad de 1 tonelada de vapor por hora que tenía un costo de \$ 80,000.00. Se verificó que este un dato es cercano a lo que ofrece el mercado, (y que se ha podido cotejar con un sondeo en el internet, oscilando por valores incluso menores, ver anexo 12), y dado que a la fecha aún no se recibe una cotización formal lo usaremos para realizar los cálculos teóricos iniciales. Un incinerador de 2 toneladas tendría un costo de \$ 160,000.00 y para efectos de presupuesto se le da un sobrepeso de 25% dando como resultado un costo de \$ 200,000.00.

Se aclara que este valor de costo aplica únicamente para la empresa en estudio, debido que la información sobre el proveedor desea conservarse de forma confidencial.

**Tabla 6. Plan de Inversión Costos de Equipo.**

| FICHA DE COSTO EQUIPO                                  |                       |                           |                  |                    |                     |
|--|-----------------------|---------------------------|------------------|--------------------|---------------------|
| PLAN DE INVERSIÓN PROYECTO INCINERADOR DE LODOS HFO/LO |                       |                           |                  |                    |                     |
| ITEM   | DESCRIPCION DE EQUIPO | UNIDAD DE MEDIDA (compra) | COSTO POR UNIDAD | CANTIDAD REQUERIDA | COSTO UNITARIO      |
| 1  | Incinerador           | UNIDAD                    | \$200,000.00     | 1                  | \$200,000.00        |
|  | <b>Costo Total</b>    |                           |                  |                    | <b>\$200,000.00</b> |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7. Plan de Inversión Costos Fijos.**

| FICHA DE COSTOS FIJOS                                  |                           |                           |                        |           |                              |
|--|---------------------------|---------------------------|------------------------|-----------|------------------------------|
| PLAN DE INVERSIÓN PROYECTO INCINERADOR DE LODOS HFO/LO |                           |                           |                        |           |                              |
| ITEM   | DESCRIPCIÓN REQUERIMIENTO | UNIDAD DE MEDIDA (compra) | COSTO POR MANO DE OBRA | EMPLEADOS | COSTO POR MANO DE OBRA ANUAL |
| 1  | Mano de obra directa      |                           | \$ 7,142.86            | 1         | \$ 7,142.86                  |
|  | <b>Costo Total</b>        |                           |                        |           | <b>\$ 7,142.86</b>           |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 8. Plan de Inversión Costos Variables.**

| FICHA DE COSTO EQUIPO                                  |                           |                  |                  |                    |                     |
|--|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|---------------------|
| PLAN DE INVERSIÓN PROYECTO INCINERADOR DE LODOS HFO/LO |                           |                  |                  |                    |                     |
| ITEM   | DESCRIPCIÓN FERTILIZANTES | UNIDAD DE LIBRAS | COSTO POR UNIDAD | CANTIDAD REQUERIDA | COSTO UNITARIO      |
| 1  | SOLVEX                    | GALON            | \$ 20.00         | 50                 | \$ 1,000.00         |
| 2  | ACEITE DE PINO            | GALON            | \$ 10.00         | 50                 | \$ 500.00           |
| 3  | AIRE PRESURIZADO          | UNIDAD           | \$ 20.00         | 20                 | \$ 400.00           |
| 4  | CONTACT CLEANER           | UNIDAD           | \$ 20.00         | 20                 | \$ 400.00           |
| 5  | TRAPOS                    | LIBRAS           | \$ 10.00         | 100                | \$ 1,000.00         |
| 6  | BALINERAS                 | UNIDAD           | \$ 200.00        | 4                  | \$ 800.00           |
| 7  | REBOBINADO MOTOR          | UNIDAD           | \$ 1,000.00      | 1                  | \$ 1,000.00         |
| 8  | SENSORES DE TEMPERATURA   | UNIDAD           | \$ 500.00        | 2                  | \$ 1,000.00         |
| 9  | SENSORES DE PRESIÓN       | UNIDAD           | \$ 500.00        | 2                  | \$ 1,000.00         |
| 10   | SENSORES DE NIVEL         | UNIDAD           | \$ 500.00        | 2                  | \$ 1,000.00         |
| 11   | CONTACTORES               | UNIDAD           | \$ 300.00        | 2                  | \$ 600.00           |
| 12   | DISYUNTORES               | UNIDAD           | \$ 150.00        | 2                  | \$ 300.00           |
| 13   | GUARDAMOTORES             | UNIDAD           | \$ 200.00        | 2                  | \$ 400.00           |
| 14   | LUCES PILOTO              | UNIDAD           | \$ 25.00         | 2                  | \$ 50.00            |
| 15   | CONSUMO ELÉCTRICO         | KW/H             | \$ 0.14          | 94900              | \$ 13,286.00        |
| <b>Costo Total</b>                                     |                           |                  |                  |                    | <b>\$ 22,736.00</b> |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9. Plan de Inversión Activos Fijos.**

**INVERSIÓN EN ACTIVOS FIJOS Y CALCULO DE DEPRECIACIÓN**

**PLAN DE INVERSIÓN INCINERADOR DE LODOS HFO/LO**

| DESCRIPCIÓN ACTIVOS FIJOS              | Cant. | Costo de adquisición Unitario | COSTO TOTAL   | VIDA ÚTIL | Dep. anual   | Depreciación acumulada | VALOR RESIDUAL O DE SALVAMENTO | DISTRIBUCION DEL GASTO DE DEPRECIACION |                                  |                 |   |   |
|--|-------|-------------------------------|---------------|-----------|--------------|------------------------|--------------------------------|--|----------------------------------|-----------------|---|---|
|  |       |                               |               |           |              |                        |                                | Gastos admon.                          | gastos indirectos de fabricación | gastos de venta |   |   |
| Total maquinaria y equipo              |       |                               |               |           |              |                        |                                |  |                                  | -               | - | - |
| <b>EQUIPO DE PRODUCCIÓN</b>            |       |                               |               |           |              |                        |                                |  |                                  |                 |   |   |
| INCINERADOR                            | 1     | \$ 200,000.00                 | \$ 200,000.00 | 10        | \$ 19,800.00 | \$ 79,200.00           | \$ 120,800.00                  |  |                                  |                 |   |   |
| ALQUILER GRÚA                          | 1     | \$ 12,000.00                  | \$ 12,000.00  | 1         | \$ 11,880.00 | \$ 11,880.00           | \$ 120.00                      |  |                                  |                 |   |   |
| MANO DE OBRA                           | 1     | \$ 2,178.45                   | \$ 2,178.45   | 1         | \$ 2,156.66  | \$ 2,156.66            | \$ 21.78                       |  |                                  |                 |   |   |
| PANEL ELÉCTRICO ALIMENTACIÓN PRINCIPAL | 1     | \$ 937.46                     | \$ 937.46     | 10        | \$ 92.81     | \$ 92.81               | \$ 844.65                      |  |                                  |                 |   |   |
| ACTUALIZACIÓN DE SOFTWARE MONITOREO    | 1     | \$ 1,500.00                   | \$ 1,500.00   | 10        | \$ 148.50    | \$ 148.50              | \$ 1,351.50                    |  |                                  |                 |   |   |
| <b>Total equipo de Producción</b>      |       |                               | \$ 216,615.91 |           | \$ 20,041.31 | \$ 93,477.97           | \$ 123,137.94                  |  | -                                | -               |   |   |
| <b>Inversión total y depreciación</b>  |       |                               | \$ 216,615.91 |           | \$ 20,041.31 | \$ 93,477.97           | \$ 123,137.94                  |  | -                                | -               |   |   |

\*Depreciación acumulada varía en cantidad de años según la vida útil del activo  
Activo con un año de vida útil solo incluir gasto de depreciación en el primer año

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10. Plan de Inversión.**

| <b>PLAN DE INVERSIÓN PROYECTO INCINERADOR HFO/LO</b> |               |                       |                    |
|--|---------------|-----------------------|--------------------|
| <b>Inversión</b>                                     | <b>Monto</b>  | <b>Fondos Propios</b> | <b>Financiados</b> |
| <b>Activos Fijos<sup>1</sup></b>                     |               |                       |                    |
| Equipo y herramientas                                | \$ 216,615.91 | \$ 216,615.91         |                    |
| Vehículos  | -             |                       |                    |
| <b>Subtotal</b>                                      | \$ 216,615.91 | \$ 216,615.91         | -                  |
| <b>Gastos Preoperativos (Nominales)<sup>3</sup></b>  |               |                       |                    |
| Gastos de constitución y organización                | -             | -                     |                    |
| Marcas y patentes                                    | -             | -                     |                    |
| <b>Subtotal</b>                                      | -             | -                     | -                  |
| <b>TOTAL</b>   | \$ 216,615.91 | \$ 216,615.91         | -                  |
| Porcentaje de Participación                          | 100%          | 100%                  | 0%                 |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4 CÁLCULO DE COSTO DE CAPITAL

Antes de invertir, una persona siempre tiene en mente una tasa mínima de ganancia sobre la inversión propuesta, llamada tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR). La pregunta sería ¿en qué debe basarse un individuo para fijar su propia TMAR? (Urbina, 2010)

“Es una creencia común que la TMAR de referencia debe ser la tasa máxima que ofrecen los bancos por una inversión a plazo fijo. Al realizar un balance neto entre el rendimiento bancario y la inflación, siempre habrá una pérdida neta del poder adquisitivo o valor real de la moneda “ (Urbina, 2010)

Si se define a la *TMAR* como:

$$TMAR = i + f + if; i = \text{premio al riesgo}; f = \text{inflación}$$

#### **Figura 11. Formula TMAR.**

Fuente: (Urbina, 2010)

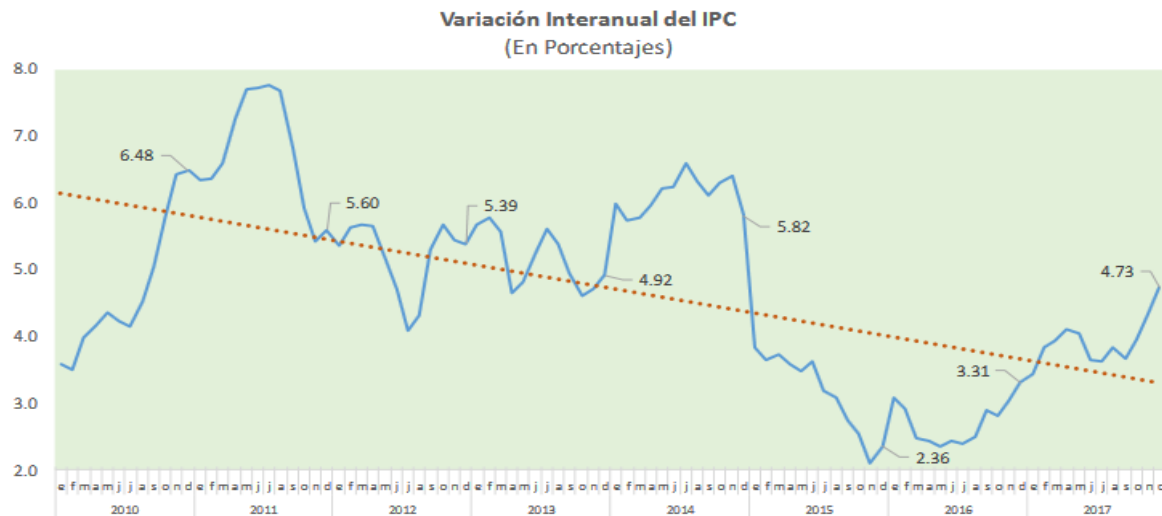
Por políticas internas de confidencialidad no es posible obtener datos para calcular o evidencia para demostrar el premio al riesgo exigido por el dueño y los inversionistas, pero se nos autorizó a usar un porcentaje del 10% con el fin de realizar la demostración teórica del proyecto. (Ver anexo 10)

En cuanto al promedio de la tasa de inflación se obtuvo la información de los informes del Índice de Precios al Consumidor proyectado por el banco central de Honduras.

**Tabla 11. Plan de Inversión Inflación Interanual.**

| <b>INFLACIÓN INTERANUAL HONDURAS</b> |                  |
|--------------------------------------|------------------|
| <b>Año</b>                           | <b>Inflación</b> |
| <b>2010</b>                          | <b>6.48%</b>     |
| 2011                                 | 5.60%            |
| 2012                                 | 5.39%            |
| 2013                                 | 4.92%            |
| 2014                                 | 5.82%            |
| 2015                                 | 2.36%            |
| 2016                                 | 3.31%            |
| 2017                                 | 4.73%            |
| 2018                                 | 4.22%            |
| 2019                                 | 4.08%            |
| 2020                                 | 4.01%            |
| Premedio de Inflación en Honduras    | 4.63%            |
| Premio Riesgo del Dueño              | 10.00%           |
| TMAR                                 | 15.09%           |

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Sección de Indicadores Económicos, BCH.

**Figura 12. Plan de Inversión Activos Fijos.**

Fuente: (Banco Central de Honduras, 2018)

“En 2012, el IPC mostró una variación interanual de 5.39%, situándose por debajo del límite inferior del rango meta establecido en el Programa Monetario ( $6.5\% \pm 1.0$  pp). Los rubros que más contribuyeron en este resultado fueron: Alimentos y Bebidas no Alcohólicas; Alojamiento, Agua, Electricidad, Gas y Otros Combustibles y Transporte”. (Banco Central de Honduras, 2020)

## 4.5 RESULTADOS

### 4.5.1 ASPECTOS TECNICOS REQUERIDOS PARA LA IMPLEMENTACION

Con los resultados de los cálculos obtenidos en la Tabla 4, se determinaron los aspectos necesarios para la selección del incinerador apropiado para el proyecto. Estos datos fueron discutidos con el equipo de ingenieros en planta, aplicando la metodología del juicio de expertos, a fin de satisfacer los requerimientos necesarios para garantizar la operación de la planta y aplicar una adecuada gestión de los cambios y evaluación de los riesgos. Se analizaron los 3 escenarios posibles considerando el factor de planta en los próximos años que incluyen el contrato de energía con el cliente.

Se analizaron las respuestas a las preguntas del anexo 12, considerando los principios de la termodinámica, aplicación en la planta, experiencia técnica y operativa, mantenimiento de los equipos, y resultados de planta en los últimos años. Las cuales fueron base para el posterior acercamiento con los proveedores y selección del diseño apropiado.



La alta dirección aprobó los resultados de los cálculos y consideraciones necesarias para el dimensionamiento, se espera tener los resultados finales de diseño de parte del proveedor a finales de febrero, de los que tomaría en cuenta para el programa de implementación.

#### 4.5.2 MARCO LEGAL Y AMBIENTAL

A finales del 2020, las plantas presentan los resultados obtenidos en el año donde se revisan las matrices legales y ambientales. Ambas plantas obtienen las certificaciones de la secretaria de ambiente, lo que valida el cumplimiento ambiental para plantas térmicas en cuanto a manejo de residuos, emisiones y seguridad ambiental.

La matriz legal de la planta 2 obtiene un 88% de cumplimiento, revisada por el equipo de calidad y legal de la empresa. Del 12% faltante se emitieron 32 recomendaciones internas para lograr el 100% a mediados del 2021.

#### 4.5.3 ESTADOS FINANCIEROS BASE

**Tabla 12. Plan de Inversión Estados Financieros B**

| <b>ESTADO DE RESULTADOS PROYECTADO<br/>PROYECTO INCINERADOR DE LODOS HFO/LO</b> |                      |                      |                      |                      |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Descripción</b>  | <b>1</b>             | <b>2</b>             | <b>3</b>             | <b>4</b>             |
| Ingresos  | \$ 232,787.63        | \$ 209,519.61        | \$ 248,901.60        | \$ 225,301.78        |
| Costos variables  | \$ 16,586.00         | \$ 22,736.00         | \$ 22,736.00         | \$ 22,736.00         |
| Costos de venta   |                      |                      |                      |                      |
| <b>Utilidad Marginal</b>  | <b>\$ 216,201.63</b> | <b>\$ 186,783.61</b> | <b>\$ 226,165.60</b> | <b>\$ 202,565.78</b> |
| Costos fijos  | \$ 7,142.86          | \$ 7,142.86          | \$ 7,142.86          | \$ 7,142.86          |
| <b>Utilidad de la Operación:</b>  | <b>\$ 209,058.77</b> | <b>\$ 179,640.75</b> | <b>\$ 219,022.74</b> | <b>\$ 195,422.92</b> |
| Gastos de patentes y marcas   | \$ -                 | \$ -                 | \$ -                 | \$ -                 |
| Gastos de constitución  | \$ -                 | \$ -                 | \$ -                 | \$ -                 |
| Depreciación de equipo  | \$ 34,077.97         | \$ 20,041.31         | \$ 20,041.31         | \$ 20,041.31         |
| <b>Utilidad antes de Impuestos</b>  | <b>\$ 174,980.80</b> | <b>\$ 159,599.44</b> | <b>\$ 198,981.43</b> | <b>\$ 175,381.62</b> |
| <b>Impuestos sobre La Renta</b>   | <b>\$ -</b>          | <b>\$ -</b>          | <b>\$ -</b>          | <b>\$ -</b>          |
| <b>Utilidad Despues de Impuesto</b>   | <b>\$ 174,980.80</b> | <b>\$ 159,599.44</b> | <b>\$ 198,981.43</b> | <b>\$ 175,381.62</b> |
| Depreciación ANUAL  | \$ 34,077.97         | \$ 20,041.31         | \$ 20,041.31         | \$ 20,041.31         |
| Valor de Salvamento Equipo  |                      |                      |                      | \$ 120,800.00        |
| <b>FLUJO NETO</b>   | <b>\$ 209,058.77</b> | <b>\$ 179,640.75</b> | <b>\$ 219,022.74</b> | <b>\$ 316,222.92</b> |

**CÁLCULO DEL "VP", "VPN" LA "TIR", PRI, Rb/C**

| <b>AÑOS</b> | <b>FLUJOS DE EFECTIVO</b> | <b>VALOR PRESENTE</b> | <b>COSTO DE CAPITAL</b> |
|-------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 0           | \$ (216,615.91)           | \$ (216,615.91)       | 15.09%                  |
| 1           | \$ 209,058.77             | \$ 181,644.92         | 15.09%                  |
| 2           | \$ 179,640.75             | \$ 291,701.62         | 15.09%                  |
| 3           | \$ 219,022.74             | \$ 499,316.24         | 15.09%                  |
| 4           | \$ 316,222.92             | \$ 901,132.06         | 15.09%                  |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| <b>SUMA DE TODOS LOS VALOR PRESENTE</b> | <b>\$ 1657,178.93</b> |
| <b>VALOR PRESENTE NETO (VPN):</b>       | <b>\$ 424,536.16</b>  |
| <b>TIR</b>                              | <b>90%</b>            |

|  |  |
|--|--|
| <b>PRI (Periodo de recuperación de la inversión)</b>   | <b><math>PRI = 1 + (424,536.16 - (209,058.77)) / 424,536.16</math></b> |
| <b>Periodo de recuperación de la inversión en años</b> | <b>1.51</b>  |

|                                 |                    |             |
|---------------------------------|--------------------|-------------|
| <b>Relacion Beneficio/Costo</b> | <b>Rb/C = VP/I</b> | <b>1.96</b> |
|---------------------------------|--------------------|-------------|

Fuente: Elaboración propia.

Considerando el comportamiento de la generación, dado por su factor de planta en los próximos años, se calcularon escenarios optimista y pesimista. Siendo un escenario optimista aquel donde la generación sea baja y se pueda aprovechar el lodo acumulado (Factor de planta inferior al 5%), y el escenario pesimista aquel donde la generación sea alta (Factor de planta superior al 40%), y sea necesario limitar el uso del incinerador a menos de 13 horas de operación diarias.

#### 4.5.4 ESTADOS FINANCIEROS OPTIMISTAS

**Tabla 13. Plan de Inversión Estados Financieros Optimista.**

| <b>ESTADO DE RESULTADOS PROYECTADO</b>      |                      |                      |                      |                      |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>PROYECTO INCINERADOR DE LODOS HFO/LO</b> |                      |                      |                      |                      |
| Descripción                                 | 1                    | 2                    | 3                    | 4                    |
| Ingresos                                    | \$ 248,901.60        | \$ 248,901.60        | \$ 248,901.60        | \$ 248,901.60        |
| Costos variables                            | \$ 16,586.00         | \$ 22,736.00         | \$ 22,736.00         | \$ 22,736.00         |
| Costos de venta                             |                      |                      |                      |                      |
| <b>Utilidad Marginal</b>                    | <b>\$ 232,315.60</b> | <b>\$ 226,165.60</b> | <b>\$ 226,165.60</b> | <b>\$ 226,165.60</b> |
| Costos fijos                                | \$ 7,142.86          | \$ 7,142.86          | \$ 7,142.86          | \$ 7,142.86          |
| <b>Utilidad de la Operación:</b>            | <b>\$ 225,172.74</b> | <b>\$ 219,022.74</b> | <b>\$ 219,022.74</b> | <b>\$ 219,022.74</b> |
| Gastos de patentes y marcas                 | \$ -                 | \$ -                 | \$ -                 | \$ -                 |
| Gastos de constitución                      | \$ -                 | \$ -                 | \$ -                 | \$ -                 |
| Depreciación de equipo                      | \$ 34,077.97         | \$ 20,041.31         | \$ 20,041.31         | \$ 20,041.31         |
| <b>Utilidad antes de Impuestos</b>          | <b>\$ 191,094.77</b> | <b>\$ 198,981.43</b> | <b>\$ 198,981.43</b> | <b>\$ 198,981.43</b> |
| <b>Impuestos sobre La Renta</b>             | <b>\$ -</b>          | <b>\$ -</b>          | <b>\$ -</b>          | <b>\$ -</b>          |
| <b>Utilidad Despues de Impuesto</b>         | <b>\$ 191,094.77</b> | <b>\$ 198,981.43</b> | <b>\$ 198,981.43</b> | <b>\$ 198,981.43</b> |
| Depreciación ANUAL                          | \$ 34,077.97         | \$ 20,041.31         | \$ 20,041.31         | \$ 20,041.31         |
| Valor de Salvamento Equipo                  |                      |                      |                      | \$ 120,800.00        |
| <b>FLUJO NETO</b>                           | <b>\$ 225,172.74</b> | <b>\$ 219,022.74</b> | <b>\$ 219,022.74</b> | <b>\$ 339,822.74</b> |

#### CÁLCULO DEL "VP", "VPN" LA "TIR", PRI, Rb/C

| AÑOS | FLUJOS DE EFECTIVO | VALOR PRESENTE  | COSTO DE CAPITAL |
|------|--------------------|-----------------|------------------|
| 0    | \$ (216,615.91)    | \$ (216,615.91) | 15.09%           |
| 1    | \$ 225,172.74      | \$ 195,645.87   | 15.09%           |
| 2    | \$ 219,022.74      | \$ 355,650.31   | 15.09%           |
| 3    | \$ 219,022.74      | \$ 499,316.24   | 15.09%           |
| 4    | \$ 339,822.74      | \$ 968,383.83   | 15.09%           |

|                                  |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| SUMA DE TODOS LOS VALOR PRESENTE | <b>\$ 1802,380.33</b> |
| VALOR PRESENTE NETO (VPN):       | <b>\$ 481,718.13</b>  |
| TIR                              | <b>100%</b>           |

|   |  |
|---|--|
| PRI (Periodo de recuperación de la inversión)   | <b>PRI = 1 + ( 481,718.13-(225,172.74))/481,718.13</b> |
| Periodo de recuperación de la inversión en años | <b>1.53</b>  |

|                          |             |             |
|--------------------------|-------------|-------------|
| Relacion Beneficio/Costo | Rb/C = VP/I | <b>2.22</b> |
|--------------------------|-------------|-------------|

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.5 ESTADOS FINANCIEROS PESIMISTAS

**Tabla 14. Plan de Inversión Estados Financieros Pesimista.**

| <b>ESTADO DE RESULTADOS PROYECTADO<br/>PROYECTO INCINERADOR DE LODOS HFO/LO</b> |                      |                      |                      |                      |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Descripción</b>  | <b>1</b>             | <b>2</b>             | <b>3</b>             | <b>4</b>             |
| Ingresos  | \$ 209,519.61        | \$ 209,519.61        | \$ 209,519.61        | \$ 209,519.61        |
| Costos variables  | \$ 16,586.00         | \$ 22,736.00         | \$ 22,736.00         | \$ 22,736.00         |
| Costos de venta   |                      |                      |                      |                      |
| <b>Utilidad Marginal</b>  | <b>\$ 192,933.61</b> | <b>\$ 186,783.61</b> | <b>\$ 186,783.61</b> | <b>\$ 186,783.61</b> |
| Costos fijos  | \$ 7,142.86          | \$ 7,142.86          | \$ 7,142.86          | \$ 7,142.86          |
| <b>Utilidad de la Operación:</b>  | <b>\$ 185,790.75</b> | <b>\$ 179,640.75</b> | <b>\$ 179,640.75</b> | <b>\$ 179,640.75</b> |
| Gastos de patentes y marcas   | \$ -                 | \$ -                 | \$ -                 | \$ -                 |
| Gastos de constitución  | \$ -                 | \$ -                 | \$ -                 | \$ -                 |
| Depreciación de equipo  | \$ 34,077.97         | \$ 20,041.31         | \$ 20,041.31         | \$ 20,041.31         |
| <b>Utilidad antes de Impuestos</b>  | <b>\$ 151,712.78</b> | <b>\$ 159,599.44</b> | <b>\$ 159,599.44</b> | <b>\$ 159,599.44</b> |
| <b>Impuestos sobre La Renta</b>   | <b>\$ -</b>          | <b>\$ -</b>          | <b>\$ -</b>          | <b>\$ -</b>          |
| <b>Utilidad Despues de Impuesto</b>   | <b>\$ 151,712.78</b> | <b>\$ 159,599.44</b> | <b>\$ 159,599.44</b> | <b>\$ 159,599.44</b> |
| Depreciación ANUAL  | \$ 34,077.97         | \$ 20,041.31         | \$ 20,041.31         | \$ 20,041.31         |
| Valor de Salvamento Equipo  |                      |                      |                      | \$ 120,800.00        |
| <b>FLUJO NETO</b>   | <b>\$ 185,790.75</b> | <b>\$ 179,640.75</b> | <b>\$ 179,640.75</b> | <b>\$ 300,440.75</b> |

**CÁLCULO DEL "VP", "VPN" LA "TIR", PRI, Rb/C**

| <b>AÑOS</b> | <b>FLUJOS DE EFECTIVO</b> | <b>VALOR PRESENTE</b> | <b>COSTO DE CAPITAL</b> |
|-------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 0           | \$ (216,615.91)           | \$ (216,615.91)       | 15.09%                  |
| 1           | \$ 185,790.75             | \$ 161,428.03         | 15.09%                  |
| 2           | \$ 179,640.75             | \$ 291,701.62         | 15.09%                  |
| 3           | \$ 179,640.75             | \$ 409,535.31         | 15.09%                  |
| 4           | \$ 300,440.75             | \$ 856,158.02         | 15.09%                  |

|                                  |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| SUMA DE TODOS LOS VALOR PRESENTE | <b>\$ 1502,207.07</b> |
| VALOR PRESENTE NETO (VPN):       | <b>\$ 369,492.33</b>  |
| TIR                              | <b>81%</b>            |

|  |  |
|--|--|
| <b>PRI (Periodo de recuperación de la inversión)</b>   | <b><math>PRI = 1 + (369,492.33 - (185,790.75)) / 369,492.33</math></b> |
| <b>Periodo de recuperación de la inversión en años</b> | <b>1.50</b>  |

|                                 |                    |             |
|---------------------------------|--------------------|-------------|
| <b>Relacion Beneficio/Costo</b> | <b>Rb/C = VP/I</b> | <b>1.71</b> |
|---------------------------------|--------------------|-------------|

Fuente: Elaboración propia.

## 4.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.6.1 ASPECTOS TÉCNICOS

Se aprueban los requerimientos técnicos calculados para el diseño del proyecto. Se evalúan los resultados de diseño propuestos por el proveedor seleccionado.

### 4.6.2 ASPECTOS LEGALES AMBIENTALES

Según políticas internas, para la implementación de proyectos de ahorro en planta 2, se requiere más del 80% de cumplimiento legal y ambiental, evaluado por el equipo de calidad y legal. Se obtiene un 100% en la parte ambiental y un 88% en la parte legal.

### 4.6.3 ESTADOS FINANCIEROS BASE

Después de hacer el análisis correspondiente del escenario base se concluyó que se acepta la hipótesis de investigación al obtenerse una tasa interna de retorno del 90% siendo ésta mayor que el costo de capital del financiamiento del Proyecto, el PRI es de 1.51 años y la relación costo-beneficio es de 1.96.

### 4.6.4 ESTADOS FINANCIEROS OPTIMISTAS

Después de hacer el análisis correspondiente del escenario Optimista se concluyó que se acepta la hipótesis de investigación al obtenerse una tasa interna de retorno del 100% siendo ésta mayor que el costo de capital del financiamiento del Proyecto, el PRI es de 1.53 años y la relación costo-beneficio es de 2.22.

### 4.6.5 ESTADOS FINANCIEROS PESIMISTAS

Después de hacer el análisis correspondiente del escenario pesimista se concluyó que se acepta la hipótesis de investigación al obtenerse una tasa interna de retorno del 81% siendo ésta mayor que el costo de capital del financiamiento del Proyecto, el PRI es de 1.5 años y la relación costo-beneficio es de 1.71.

#### 4.7 COMPROBACION DE HIPOTESIS

Después de analizadas las variables técnicas, legal-Ambiental y económicas en los tres escenarios posibles que condicionan el proyecto se acepta la hipótesis de investigación debido a que en el peor de los escenarios presenta una TIR del 81% que es mayor al costo de capital, un PRI de 1.5 años y una relación costo-beneficio de 1.71, lo que demuestra que el proyecto realmente representa una mejora en el proceso de generación de vapor.

#### 4.8 PROPUESTA DE MEJORA

Ya después de analizadas las variables que condicionan el proyecto se observa que la propuesta es viable económicamente y por tanto la propuesta de mejora para instalar un incinerador de lodos HFO/LO debería ser tomada en consideración a fin de aumentar la eficiencia en uso de los recursos de la planta 1 y la planta 2.

#### 4.9 PROPUESTA DE MEJORA CONTINUA

Analizando la organización tanto de la planta 1 como la planta 2 se observa que ambas plantas tienen sistema de gestión integrado para asegurar la mejora continua en todos sus procesos. Para el proyecto de instalación de incinerador de lodos HFO/LO se recomienda que el equipo pase a formar parte de ese sistema de gestión a fin de garantizar la disponibilidad del equipo durante todo su tiempo de vida útil.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

- (1) El proyecto de la implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras requiere de una alimentación constante de lodos HFO/LO de 189 KG/H, y un sistema automático de limpieza que asegure la eficiencia máxima del incinerador.
  
- (2) Los requisitos legales y medio ambientales para implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras basado en la Ley General De La Industria Eléctrica Decreto 404-2013 y La Ley General Del Ambiente Decreto 104-93 tienen un porcentaje de cumplimiento de 100% en la parte ambiental y un 88% en la parte legal, demostrando tener lo necesario para el inicio del proyecto según los requerimientos de la empresa.
  
- (3) Después de evaluados los escenarios base, optimista y pesimista el proyecto cumple con todos los aspectos que demuestran que es viable económicamente. Los recursos económicos necesarios para su implementación son \$ 216,615.91, en el peor de los escenarios presenta una TIR del 81% que es mayor al costo de capital, un PRI de 1.5 años y una relación costo-beneficio de 1.71.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- (1) Para asegurar una alimentación constante se puede anexar al sistema de almacenamiento de lodos un tanque de respaldo y así mantener el uso de las instalaciones ya disponibles, y considerar que el sistema automático de limpieza de las tuberías del incinerador tenga la funcionalidad tal que permita al operador monitorear y controlar de forma remota.
- (2) Mantener un seguimiento de la matriz legal ya existente de la planta haciendo énfasis en adicionar nuevos artículos que traten sobre el manejo de desechos peligrosos en actualizaciones futuras que pudiesen darse en la Ley General De La Industria Eléctrica Decreto 404-2013 y La Ley General Del Ambiente Decreto 104-93 o nuevas.
- (3) Si bien que el proyecto para la implementación de un incinerador de lodos HFO/LO en Plantas Térmicas Honduras cumple con todos los aspectos que demuestran que es viable económicamente analizado desde la perspectiva de invertir solo fondos propios, se recomienda evaluar una inversión de fondos financiados y así compartir el riesgo de la inversión.



## BIBLIOGRAFÍA

- Alfa Laval. (2003). *Sistema de Separación Tipo S*. Paris: Marine and Diesel Equipment.
- Arien, B.-N. (2017). *La Entropía Desvelada*. Barcelona: Tusquets Editores.
- Banco Central de Honduras. (2018). *Comportamiento histórico del índice de precios al consumidor de Honduras: Período 2000-2017*. Obtenido de [https://www.bch.hn/download/ipc\\_historico/informe\\_ipc-2000-2017.pdf](https://www.bch.hn/download/ipc_historico/informe_ipc-2000-2017.pdf)
- Banco Central de Honduras. (02 de Diciembre de 2020). *Índice de Precios al Consumidor*. Obtenido de [https://www.bch.hn/download/ipc\\_historico/informe\\_ipc-2000-2017.pdf](https://www.bch.hn/download/ipc_historico/informe_ipc-2000-2017.pdf)
- Carpintero, J. (31 de Julio de 2019). TERMODINÁMICA: eficiencia en calderas y costo de consumo de combustible parte 1. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=y3hodWoo0ic&t=189s&ab\\_channel=JavierCarpintero](https://www.youtube.com/watch?v=y3hodWoo0ic&t=189s&ab_channel=JavierCarpintero)
- Cengel, Y., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica*. México, D.F.: McGRAW-HILL/Interamericana Editores, S.A. DE C.V.
- Floyd, T. L. (2008). *Dispositivos Electrónicos*. México: Pearson Educación.
- Gonzalez Cardoso, G. (Enero de 2003). Optimización del proceso de incineración de residuos sólidos municipales. México D.F., México.
- Hebbeler, R. C. (2004). *Estática*. México: Pearson Educación.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2010). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN* (Quinta ed.). México D.F.: McGraw Hill.
- IEA. (2010). *Energy balances of non-OECD countries*. Paris: OECD-IEA.
- INTERTEK. (2016). *Report Of Analysis*. Panama: Intertek.
- James, M. G., & Goodno, B. J. (2009). *Mecánica de Materiales*. México, D.F.: Cengage Learning Editores, SA de CV.
- Mulchandani, A., & Westerhoff, P. (2016). Recovery opportunities for metals and energy from sewage sludges. En *Bioresource Technology* (págs. 215-226).
- Oladejo, J., Shi, K., Luo, X., Yang, G., & Wu, T. (25 de Diciembre de 2018). *Review of Sludge-to-Energy Recovery Methods*. Ningbo: The University of Nottingham,.
- Patil, A. A., Kulkarni, A. A., & Patil, B. B. (2014). *WASTE TO ENERGY BY INCINERATION*. Kolhapur: Journal of Computing Technologies.
- Perez, J. R. (2019). *Conceptos Básicos de Termodinámica*. Madrid: García Moroto Editores.
- República de Honduras. (1993). *LEY GENERAL DEL AMBIENTE DECRETO 104-93*. Tegucigalpa: Diario La Gaceta.
- República de Honduras. (2014). *Ley General de la Industria Eléctrica (Decreto N°404-2013)*. Tegucigalpa: Diario La Gaceta.

- Ross, S. A., Westerfied, R. W., & F., J. J. (2012). *Finanzas Corporativas* (Novena ed.). México D.F.: McGraw Hill.
- Saiz, J. M. (2012). *transferencia de Calor*. Coruña: Universidade da Coruña.
- Sans Vera, F. (Junio de 2018). EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: VALORIZACIÓN DE LODOS POR INCINERACIÓN. Cartagena, Colombia.
- Sears, F. W., Zemansky, M. W., Young, H. D., & Freedman, R. A. (2005). *Física Universitaria con Física Moderna*. México: Pearson Educación.
- Seiple, T., Coleman, A., & Skaggs, R. (2017). *R.L. Municipal wastewater sludge as a sustainable bioresource in the*. Journal of Environmental Management.
- Sosa, J. D., & García, A. D. (2020). *Mecánica y Termodinámica*. Madrid: García Maroto Editores.
- Syed-Hassan, S., Wang, Y., Hu, S., Su, S., & Xiang, J. (2017). *Thermochemical processing of sewage sludge to energy and fuel: Fundamentals, challenges and considerations*. Renewable Sustainable Energy Review.
- The Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC). (23 de Septiembre de 2020). *Organization of the Petroleum Exporting Countries*. Obtenido de [www.opec.org](http://www.opec.org)
- Urbina, G. B. (2010). *Evaluación de Proyectos*. México, D.F.: McGRAW-HILL/Interamericana Editores.
- Vatavuk, W. M. (Junio de 2002). Incineradores. *Manual de Costos de Control de Contaminacion del Aire de la EPA*. Durham, Carolina del Norte, Estados Unidos: Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU.
- Vaxelaire, J., & Cézac, P. (2004). *Moisture distribution in activated sludges: a review*. Water Research. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135404000971>
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2007). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería*. México: Pearson Educación.
- Wu, M.-H., Lin, C.-L., Huang, W.-C., & Chen, J.-W. (2016). Characteristics of pervious concrete using incineration bottom ash in place of sandstone graded material. En *Construction and Building Materials* (págs. 618-624).
- Zacharof, M.-P., & Lovitt, R. W. (2014). The filtration characteristics of anaerobic digester effluents employing cross flow ceramic membrane microfiltration for nutrient recovery. En *Desalination* (págs. 27-37).

# ANEXOS

## ANEXO 1 TOMADO DE TERMODINÁMICA AGUA SATURADA TEMPERATURAS

TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)

**TABLA A-4**

Agua saturada. Tabla de temperaturas

| Temp.,<br>T °C | Pres.<br>sat.,<br>P <sub>sat</sub> kPa | Volumen específico,<br>m <sup>3</sup> /kg |                                   | Energía interna,<br>kJ/kg           |                                 |                                   | Entalpía,<br>kJ/kg                  |                                 |                                   | Entropía,<br>kJ/kg · K              |                                 |                                   |
|----------------|--|---|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|                |  | Líquido,<br>sat.,<br>v <sub>f</sub>       | Vapor,<br>sat.,<br>v <sub>g</sub> | Líquido,<br>sat.,<br>u <sub>f</sub> | Evaporación,<br>u <sub>fg</sub> | Vapor,<br>sat.,<br>u <sub>g</sub> | Líquido,<br>sat.,<br>h <sub>f</sub> | Evaporación,<br>h <sub>fg</sub> | Vapor,<br>sat.,<br>h <sub>g</sub> | Líquido,<br>sat.,<br>s <sub>f</sub> | Evaporación,<br>s <sub>fg</sub> | Vapor,<br>sat.,<br>s <sub>g</sub> |
|                |  | 0.01                                      | 0.6117                            | 0.001000                            | 206.00                          | 0.000                             | 2374.9                              | 2374.9                          | 0.001                             | 2500.9                              | 2500.9                          | 0.0000                            |
| 5              | 0.8725                                 | 0.001000                                  | 147.03                            | 21.019                              | 2360.8                          | 2381.8                            | 21.020                              | 2489.1                          | 2510.1                            | 0.0763                              | 8.9487                          | 9.0249                            |
| 10             | 1.2281                                 | 0.001000                                  | 106.32                            | 42.020                              | 2346.6                          | 2388.7                            | 42.022                              | 2477.2                          | 2519.2                            | 0.1511                              | 8.7488                          | 8.8999                            |
| 15             | 1.7057                                 | 0.001001                                  | 77.885                            | 62.980                              | 2332.5                          | 2395.5                            | 62.982                              | 2465.4                          | 2528.3                            | 0.2245                              | 8.5559                          | 8.7803                            |
| 20             | 2.3392                                 | 0.001002                                  | 57.762                            | 83.913                              | 2318.4                          | 2402.3                            | 83.915                              | 2453.5                          | 2537.4                            | 0.2965                              | 8.3696                          | 8.6661                            |
| 25             | 3.1698                                 | 0.001003                                  | 43.340                            | 104.83                              | 2304.3                          | 2409.1                            | 104.83                              | 2441.7                          | 2546.5                            | 0.3672                              | 8.1895                          | 8.5567                            |
| 30             | 4.2469                                 | 0.001004                                  | 32.879                            | 125.73                              | 2290.2                          | 2415.9                            | 125.74                              | 2429.8                          | 2555.6                            | 0.4368                              | 8.0152                          | 8.4520                            |
| 35             | 5.6291                                 | 0.001006                                  | 25.205                            | 146.63                              | 2276.0                          | 2422.7                            | 146.64                              | 2417.9                          | 2564.6                            | 0.5051                              | 7.8466                          | 8.3517                            |
| 40             | 7.3851                                 | 0.001008                                  | 19.515                            | 167.53                              | 2261.9                          | 2429.4                            | 167.53                              | 2406.0                          | 2573.5                            | 0.5724                              | 7.6832                          | 8.2556                            |
| 45             | 9.5953                                 | 0.001010                                  | 15.251                            | 188.43                              | 2247.7                          | 2436.1                            | 188.44                              | 2394.0                          | 2582.4                            | 0.6386                              | 7.5247                          | 8.1633                            |
| 50             | 12.352                                 | 0.001012                                  | 12.026                            | 209.33                              | 2233.4                          | 2442.7                            | 209.34                              | 2382.0                          | 2591.3                            | 0.7038                              | 7.3710                          | 8.0748                            |
| 55             | 15.763                                 | 0.001015                                  | 9.5639                            | 230.24                              | 2219.1                          | 2449.3                            | 230.26                              | 2369.8                          | 2600.1                            | 0.7680                              | 7.2218                          | 7.9898                            |
| 60             | 19.947                                 | 0.001017                                  | 7.6670                            | 251.16                              | 2204.7                          | 2455.9                            | 251.18                              | 2357.7                          | 2608.8                            | 0.8313                              | 7.0769                          | 7.9082                            |
| 65             | 25.043                                 | 0.001020                                  | 6.1935                            | 272.09                              | 2190.3                          | 2462.4                            | 272.12                              | 2345.4                          | 2617.5                            | 0.8937                              | 6.9360                          | 7.8296                            |
| 70             | 31.202                                 | 0.001023                                  | 5.0396                            | 293.04                              | 2175.8                          | 2468.9                            | 293.07                              | 2333.0                          | 2626.1                            | 0.9551                              | 6.7989                          | 7.7540                            |
| 75             | 38.597                                 | 0.001026                                  | 4.1291                            | 313.99                              | 2161.3                          | 2475.3                            | 314.03                              | 2320.6                          | 2634.6                            | 1.0158                              | 6.6655                          | 7.6812                            |
| 80             | 47.416                                 | 0.001029                                  | 3.4053                            | 334.97                              | 2146.6                          | 2481.6                            | 335.02                              | 2308.0                          | 2643.0                            | 1.0756                              | 6.5355                          | 7.6111                            |
| 85             | 57.868                                 | 0.001032                                  | 2.8261                            | 355.96                              | 2131.9                          | 2487.8                            | 356.02                              | 2295.3                          | 2651.4                            | 1.1346                              | 6.4089                          | 7.5435                            |
| 90             | 70.183                                 | 0.001036                                  | 2.3593                            | 376.97                              | 2117.0                          | 2494.0                            | 377.04                              | 2282.5                          | 2659.6                            | 1.1929                              | 6.2853                          | 7.4782                            |
| 95             | 84.609                                 | 0.001040                                  | 1.9808                            | 398.00                              | 2102.0                          | 2500.1                            | 398.09                              | 2269.6                          | 2667.6                            | 1.2504                              | 6.1647                          | 7.4151                            |
| 100            | 101.42                                 | 0.001043                                  | 1.6720                            | 419.06                              | 2087.0                          | 2506.0                            | 419.17                              | 2256.4                          | 2675.6                            | 1.3072                              | 6.0470                          | 7.3542                            |
| 105            | 120.90                                 | 0.001047                                  | 1.4186                            | 440.15                              | 2071.8                          | 2511.9                            | 440.28                              | 2243.1                          | 2683.4                            | 1.3634                              | 5.9319                          | 7.2952                            |
| 110            | 143.38                                 | 0.001052                                  | 1.2094                            | 461.27                              | 2056.4                          | 2517.7                            | 461.42                              | 2229.7                          | 2691.1                            | 1.4188                              | 5.8193                          | 7.2382                            |
| 115            | 169.18                                 | 0.001056                                  | 1.0360                            | 482.42                              | 2040.9                          | 2523.3                            | 482.59                              | 2216.0                          | 2698.6                            | 1.4737                              | 5.7092                          | 7.1829                            |
| 120            | 198.67                                 | 0.001060                                  | 0.89133                           | 503.60                              | 2025.3                          | 2528.9                            | 503.81                              | 2202.1                          | 2706.0                            | 1.5279                              | 5.6013                          | 7.1292                            |
| 125            | 232.23                                 | 0.001065                                  | 0.77012                           | 524.83                              | 2009.5                          | 2534.3                            | 525.07                              | 2188.1                          | 2713.1                            | 1.5816                              | 5.4956                          | 7.0771                            |
| 130            | 270.28                                 | 0.001070                                  | 0.66808                           | 546.10                              | 1993.4                          | 2539.5                            | 546.38                              | 2173.7                          | 2720.1                            | 1.6346                              | 5.3919                          | 7.0265                            |
| 135            | 313.22                                 | 0.001075                                  | 0.58179                           | 567.41                              | 1977.3                          | 2544.7                            | 567.75                              | 2159.1                          | 2726.9                            | 1.6872                              | 5.2901                          | 6.9773                            |
| 140            | 361.53                                 | 0.001080                                  | 0.50850                           | 588.77                              | 1960.9                          | 2549.6                            | 589.16                              | 2144.3                          | 2733.5                            | 1.7392                              | 5.1901                          | 6.9294                            |
| 145            | 415.68                                 | 0.001085                                  | 0.44600                           | 610.19                              | 1944.2                          | 2554.4                            | 610.64                              | 2129.2                          | 2739.8                            | 1.7908                              | 5.0919                          | 6.8827                            |
| 150            | 476.16                                 | 0.001091                                  | 0.39248                           | 631.66                              | 1927.4                          | 2559.1                            | 632.18                              | 2113.8                          | 2745.9                            | 1.8418                              | 4.9953                          | 6.8371                            |
| 155            | 543.49                                 | 0.001096                                  | 0.34648                           | 653.19                              | 1910.3                          | 2563.5                            | 653.79                              | 2098.0                          | 2751.8                            | 1.8924                              | 4.9002                          | 6.7927                            |
| 160            | 618.23                                 | 0.001102                                  | 0.30680                           | 674.79                              | 1893.0                          | 2567.8                            | 675.47                              | 2082.0                          | 2757.5                            | 1.9426                              | 4.8066                          | 6.7492                            |
| 165            | 700.93                                 | 0.001108                                  | 0.27244                           | 696.46                              | 1875.4                          | 2571.9                            | 697.24                              | 2065.6                          | 2762.8                            | 1.9923                              | 4.7143                          | 6.7067                            |
| 170            | 792.18                                 | 0.001114                                  | 0.24260                           | 718.20                              | 1857.5                          | 2575.7                            | 719.08                              | 2048.8                          | 2767.9                            | 2.0417                              | 4.6233                          | 6.6650                            |
| 175            | 892.60                                 | 0.001121                                  | 0.21659                           | 740.02                              | 1839.4                          | 2579.4                            | 741.02                              | 2031.7                          | 2772.7                            | 2.0906                              | 4.5335                          | 6.6242                            |
| 180            | 1002.8                                 | 0.001127                                  | 0.19384                           | 761.92                              | 1820.9                          | 2582.8                            | 763.05                              | 2014.2                          | 2777.2                            | 2.1392                              | 4.4448                          | 6.5841                            |
| 185            | 1123.5                                 | 0.001134                                  | 0.17390                           | 783.91                              | 1802.1                          | 2586.0                            | 785.19                              | 1996.2                          | 2781.4                            | 2.1875                              | 4.3572                          | 6.5447                            |
| 190            | 1255.2                                 | 0.001141                                  | 0.15636                           | 806.00                              | 1783.0                          | 2589.0                            | 807.43                              | 1977.9                          | 2785.3                            | 2.2355                              | 4.2705                          | 6.5059                            |
| 195            | 1398.8                                 | 0.001149                                  | 0.14089                           | 828.18                              | 1763.6                          | 2591.7                            | 829.78                              | 1959.0                          | 2788.8                            | 2.2831                              | 4.1847                          | 6.4678                            |
| 200            | 1554.9                                 | 0.001157                                  | 0.12721                           | 850.46                              | 1743.7                          | 2594.2                            | 852.26                              | 1939.8                          | 2792.0                            | 2.3305                              | 4.0997                          | 6.4302                            |

Fuente: (Cengel & Boles, 2012)

## ANEXO 2 TOMADO DE TERMODINÁMICA TABLA DE AGUA SATURADA PRESIONES

TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)

**TABLA A-5**

Agua saturada. Tabla de presiones

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

Fuente: (Cengel & Boles, 2012)

ANEXO 3 TOMADO DE TERMODINÁMICA TABLA DE VAPOR SOBRECALENTADO.

TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)

TABLA A-6

Vapor de agua sobrecalentado

| <i>T</i><br>°C                 | <i>v</i><br>m³/kg | <i>u</i><br>kJ/kg | <i>h</i><br>kJ/kg | <i>s</i><br>kJ/kg · K          | <i>v</i><br>m³/kg | <i>u</i><br>kJ/kg | <i>h</i><br>kJ/kg | <i>s</i><br>kJ/kg · K          | <i>v</i><br>m³/kg | <i>u</i><br>kJ/kg | <i>h</i><br>kJ/kg | <i>s</i><br>kJ/kg · K |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| <i>P</i> = 0.01 MPa (45.81°C)* |                   |                   |                   | <i>P</i> = 0.05 MPa (81.32°C)  |                   |                   |                   | <i>P</i> = 0.10 MPa (99.61°C)  |                   |                   |                   |                       |
| Sat. <sup>1</sup>              | 14.670            | 2437.2            | 2583.9            | 8.1488                         | 3.2403            | 2483.2            | 2645.2            | 7.5931                         | 1.6941            | 2505.6            | 2675.0            | 7.3589                |
| 50                             | 14.867            | 2443.3            | 2592.0            | 8.1741                         |                   |                   |                   |                                |                   |                   |                   |                       |
| 100                            | 17.196            | 2515.5            | 2687.5            | 8.4489                         | 3.4187            | 2511.5            | 2682.4            | 7.6953                         | 1.6959            | 2506.2            | 2675.8            | 7.3611                |
| 150                            | 19.513            | 2587.9            | 2783.0            | 8.6893                         | 3.8897            | 2585.7            | 2780.2            | 7.9413                         | 1.9367            | 2582.9            | 2776.6            | 7.6148                |
| 200                            | 21.826            | 2661.4            | 2879.6            | 8.9049                         | 4.3562            | 2660.0            | 2877.8            | 8.1592                         | 2.1724            | 2658.2            | 2875.5            | 7.8356                |
| 250                            | 24.136            | 2736.1            | 2977.5            | 9.1015                         | 4.8206            | 2735.1            | 2976.2            | 8.3568                         | 2.4062            | 2733.9            | 2974.5            | 8.0346                |
| 300                            | 26.446            | 2812.3            | 3076.7            | 9.2827                         | 5.2841            | 2811.6            | 3075.8            | 8.5387                         | 2.6389            | 2810.7            | 3074.5            | 8.2172                |
| 400                            | 31.063            | 2969.3            | 3280.0            | 9.6094                         | 6.2094            | 2968.9            | 3279.3            | 8.8659                         | 3.1027            | 2968.3            | 3278.6            | 8.5452                |
| 500                            | 35.680            | 3132.9            | 3489.7            | 9.8998                         | 7.1338            | 3132.6            | 3489.3            | 9.1566                         | 3.5655            | 3132.2            | 3488.7            | 8.8362                |
| 600                            | 40.296            | 3303.3            | 3706.3            | 10.1631                        | 8.0577            | 3303.1            | 3706.0            | 9.4201                         | 4.0279            | 3302.8            | 3705.6            | 9.0999                |
| 700                            | 44.911            | 3480.8            | 3929.9            | 10.4056                        | 8.9813            | 3480.6            | 3929.7            | 9.6626                         | 4.4900            | 3480.4            | 3929.4            | 9.3424                |
| 800                            | 49.527            | 3665.4            | 4160.6            | 10.6312                        | 9.9047            | 3665.2            | 4160.4            | 9.8883                         | 4.9519            | 3665.0            | 4160.2            | 9.5682                |
| 900                            | 54.143            | 3856.9            | 4398.3            | 10.8429                        | 10.8280           | 3856.8            | 4398.2            | 10.1000                        | 5.4137            | 3856.7            | 4398.0            | 9.7800                |
| 1000                           | 58.758            | 4055.3            | 4642.8            | 11.0429                        | 11.7513           | 4055.2            | 4642.7            | 10.3000                        | 5.8755            | 4055.0            | 4642.6            | 9.9800                |
| 1100                           | 63.373            | 4260.0            | 4893.8            | 11.2326                        | 12.6745           | 4259.9            | 4893.7            | 10.4897                        | 6.3372            | 4259.8            | 4893.6            | 10.1698               |
| 1200                           | 67.989            | 4470.9            | 5150.8            | 11.4132                        | 13.5977           | 4470.8            | 5150.7            | 10.6704                        | 6.7988            | 4470.7            | 5150.6            | 10.3504               |
| 1300                           | 72.604            | 4687.4            | 5413.4            | 11.5857                        | 14.5209           | 4687.3            | 5413.3            | 10.8429                        | 7.2605            | 4687.2            | 5413.3            | 10.5229               |
| <i>P</i> = 0.20 MPa (120.21°C) |                   |                   |                   | <i>P</i> = 0.30 MPa (133.52°C) |                   |                   |                   | <i>P</i> = 0.40 MPa (143.61°C) |                   |                   |                   |                       |
| Sat.                           | 0.88578           | 2529.1            | 2706.3            | 7.1270                         | 0.60582           | 2543.2            | 2724.9            | 6.9917                         | 0.46242           | 2553.1            | 2738.1            | 6.8955                |
| 150                            | 0.95986           | 2577.1            | 2769.1            | 7.2810                         | 0.63402           | 2571.0            | 2761.2            | 7.0792                         | 0.47088           | 2564.4            | 2752.8            | 6.9306                |
| 200                            | 1.08049           | 2654.6            | 2870.7            | 7.5081                         | 0.71643           | 2651.0            | 2865.9            | 7.3132                         | 0.53434           | 2647.2            | 2860.9            | 7.1723                |
| 250                            | 1.19890           | 2731.4            | 2971.2            | 7.7100                         | 0.79645           | 2728.9            | 2967.9            | 7.5180                         | 0.59520           | 2726.4            | 2964.5            | 7.3804                |
| 300                            | 1.31623           | 2808.8            | 3072.1            | 7.8941                         | 0.87535           | 2807.0            | 3069.6            | 7.7037                         | 0.65489           | 2805.1            | 3067.1            | 7.5677                |
| 400                            | 1.54934           | 2967.2            | 3277.0            | 8.2236                         | 1.03155           | 2966.0            | 3275.5            | 8.0347                         | 0.77265           | 2964.9            | 3273.9            | 7.9003                |
| 500                            | 1.78142           | 3131.4            | 3487.7            | 8.5153                         | 1.18672           | 3130.6            | 3486.6            | 8.3271                         | 0.88936           | 3129.8            | 3485.5            | 8.1933                |
| 600                            | 2.01302           | 3302.2            | 3704.8            | 8.7793                         | 1.34139           | 3301.6            | 3704.0            | 8.5915                         | 1.00558           | 3301.0            | 3703.3            | 8.4580                |
| 700                            | 2.24434           | 3479.9            | 3928.8            | 9.0221                         | 1.49580           | 3479.5            | 3928.2            | 8.8345                         | 1.12152           | 3479.0            | 3927.6            | 8.7012                |
| 800                            | 2.47550           | 3664.7            | 4159.8            | 9.2479                         | 1.65004           | 3664.3            | 4159.3            | 9.0605                         | 1.23730           | 3663.9            | 4158.9            | 8.9274                |
| 900                            | 2.70656           | 3856.3            | 4397.7            | 9.4598                         | 1.80417           | 3856.0            | 4397.3            | 9.2725                         | 1.35298           | 3855.7            | 4396.9            | 9.1394                |
| 1000                           | 2.93755           | 4054.8            | 4642.3            | 9.6599                         | 1.95824           | 4054.5            | 4642.0            | 9.4726                         | 1.46859           | 4054.3            | 4641.7            | 9.3396                |
| 1100                           | 3.16848           | 4259.6            | 4893.3            | 9.8497                         | 2.11226           | 4259.4            | 4893.1            | 9.6624                         | 1.58414           | 4259.2            | 4892.9            | 9.5295                |
| 1200                           | 3.39938           | 4470.5            | 5150.4            | 10.0304                        | 2.26624           | 4470.3            | 5150.2            | 9.8431                         | 1.69966           | 4470.2            | 5150.0            | 9.7102                |
| 1300                           | 3.63026           | 4687.1            | 5413.1            | 10.2029                        | 2.42019           | 4686.9            | 5413.0            | 10.0157                        | 1.81516           | 4686.7            | 5412.8            | 9.8828                |
| <i>P</i> = 0.50 MPa (151.83°C) |                   |                   |                   | <i>P</i> = 0.60 MPa (158.83°C) |                   |                   |                   | <i>P</i> = 0.80 MPa (170.41°C) |                   |                   |                   |                       |
| Sat.                           | 0.37483           | 2560.7            | 2748.1            | 6.8207                         | 0.31560           | 2566.8            | 2756.2            | 6.7593                         | 0.24035           | 2576.0            | 2768.3            | 6.6616                |
| 200                            | 0.42503           | 2643.3            | 2855.8            | 7.0610                         | 0.35212           | 2639.4            | 2850.6            | 6.9683                         | 0.26088           | 2631.1            | 2839.8            | 6.8177                |
| 250                            | 0.47443           | 2723.8            | 2961.0            | 7.2725                         | 0.39390           | 2721.2            | 2957.6            | 7.1833                         | 0.29321           | 2715.9            | 2950.4            | 7.0402                |
| 300                            | 0.52261           | 2803.3            | 3064.6            | 7.4614                         | 0.43442           | 2801.4            | 3062.0            | 7.3740                         | 0.32416           | 2797.5            | 3056.9            | 7.2345                |
| 350                            | 0.57015           | 2883.0            | 3168.1            | 7.6346                         | 0.47428           | 2881.6            | 3166.1            | 7.5481                         | 0.35442           | 2878.6            | 3162.2            | 7.4107                |
| 400                            | 0.61731           | 2963.7            | 3272.4            | 7.7956                         | 0.51374           | 2962.5            | 3270.8            | 7.7097                         | 0.38429           | 2960.2            | 3267.7            | 7.5735                |
| 500                            | 0.71095           | 3129.0            | 3484.5            | 8.0893                         | 0.59200           | 3128.2            | 3483.4            | 8.0041                         | 0.44332           | 3126.6            | 3481.3            | 7.8692                |
| 600                            | 0.80409           | 3300.4            | 3702.5            | 8.3544                         | 0.66976           | 3299.8            | 3701.7            | 8.2695                         | 0.50186           | 3298.7            | 3700.1            | 8.1354                |
| 700                            | 0.89696           | 3478.6            | 3927.0            | 8.5978                         | 0.74725           | 3478.1            | 3926.4            | 8.5132                         | 0.56011           | 3477.2            | 3925.3            | 8.3794                |

Fuente: (Cengel & Boles, 2012)

## ANEXO 4 FLUJOS DE EFECTIVO 2017

| DESCRIPCIÓN                                   | ene-17      | feb-17      | mar-17      | abr-17      | may-17      | jun-17      | jul-17      | ago-17      | sep-17      | oct-17      | nov-17      | dic-17      | TOTAL        |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| HFO caldera (Gls)                             | 6964        | 6114        | 5467        | 3917        | 4165        | 6585        | 5983        | 6218        | 5168        | 5323        | 5316        | 3284        | 55904        |
| D. O ( Gls )                                  | 5038        | 4587        | 3425        | 5390        | 5086        | 3152        | 2257        | 1787        | 2197        | 1909        | 3133        | 1083        | 27160        |
| D. O ( Gls ) Caldera por falla                | 3838        | 3387        | 2225        | 4190        | 3886        | 1952        | 1057        | 587         | 997         | 709         | 1933        | 0           | 22119        |
| Costo HFO (1.04 USD)                          | \$ 6,622.91 | \$ 5,814.54 | \$ 5,199.23 | \$ 3,725.15 | \$ 3,961.00 | \$ 6,262.47 | \$ 5,689.96 | \$ 5,913.44 | \$ 4,914.87 | \$ 5,062.28 | \$ 5,055.62 | \$ 3,123.15 | \$ 61,344.62 |
| Costo D. O ( Gls ) Caldera por falla (2.08 US | \$ 5,075.30 | \$ 4,479.69 | \$ 2,943.01 | \$ 5,540.42 | \$ 5,138.54 | \$ 2,581.22 | \$ 1,397.98 | \$ 776.60   | \$ 1,318.78 | \$ 937.28   | \$ 2,556.22 | \$ -        | \$ 32,745.05 |
| Pago por llevarse el lodo USD                 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$138,697.96 |
| Ahorro anual                                  | \$23,256.37 | \$21,852.39 | \$19,700.40 | \$20,823.73 | \$20,657.70 | \$20,401.86 | \$18,646.10 | \$18,248.21 | \$17,791.82 | \$17,557.73 | \$19,170.01 | \$14,681.31 | \$232,787.63 |

## ANEXO 5 FLUJOS DE EFECTIVO 2018

| DESCRIPCIÓN                                   | ene-18      | feb-18      | mar-18      | abr-18      | may-18      | jun-18      | jul-18      | ago-18      | sep-18      | oct-18      | nov-18      | dic-18      | TOTAL        |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| HFO caldera (Gls)                             | 2383        | 2090        | 3848        | 3555        | 3974        | 4847        | 4757        | 5722        | 5454        | 5207        | 5259        | 3403        | 41837        |
| D. O ( Gls )                                  | 1733        | 2892        | 2792        | 2948        | 2716        | 2211        | 2439        | 1663        | 4542        | 2527        | 949         | 3973        | 27160        |
| D. O ( Gls ) Caldera por falla                | 533         | 1692        | 1592        | 1748        | 1516        | 1011        | 1239        | 463         | 3342        | 1327        | 0           | 2773        | 13137        |
| Costo HFO (1.04 USD)                          | \$ 2,266.28 | \$ 1,987.63 | \$ 3,659.53 | \$ 3,380.88 | \$ 3,779.36 | \$ 4,609.60 | \$ 4,524.00 | \$ 5,441.74 | \$ 5,186.87 | \$ 4,951.96 | \$ 5,001.42 | \$ 3,236.32 | \$ 48,025.58 |
| Costo D. O ( Gls ) Caldera por falla (2.08 US | \$ 704.82   | \$ 2,237.93 | \$ 2,105.84 | \$ 2,311.74 | \$ 2,005.06 | \$ 1,336.86 | \$ 1,638.79 | \$ 612.77   | \$ 4,419.13 | \$ 1,755.50 | \$ -        | \$ 3,667.63 | \$ 22,796.07 |
| Pago por llevarse el lodo USD                 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$138,697.96 |
| Ahorro anual                                  | \$14,529.26 | \$15,783.73 | \$17,323.53 | \$17,250.78 | \$17,342.58 | \$17,504.62 | \$17,720.96 | \$17,612.67 | \$21,164.16 | \$18,265.63 | \$16,559.58 | \$18,462.11 | \$209,519.61 |

## ANEXO 6 FLUJOS DE EFECTIVO 2019

| DESCRIPCIÓN                                   | ene-19      | feb-19      | mar-19      | abr-19      | may-19      | jun-19      | jul-19      | ago-19      | sep-19      | oct-19      | nov-19      | dic-19      | TOTAL        |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| HFO caldera (Gls)                             | 4113        | 3486        | 5788        | 4622        | 2875        | 4061        | 4512        | 4240        | 3746        | 4801        | 5514        | 5172        | 42244        |
| D. O ( Gls )                                  | 2669        | 5969        | 3550        | 4268        | 5131        | 5052        | 5172        | 5401        | 6882        | 6238        | 6252        | 3086        | 27160        |
| D. O ( Gls ) Caldera por falla                | 1469        | 4769        | 2350        | 3068        | 3931        | 3852        | 3972        | 4201        | 5682        | 5038        | 5052        | 1886        | 33293        |
| Costo HFO (1.04 USD)                          | \$ 3,911.55 | \$ 3,315.26 | \$ 5,504.51 | \$ 4,395.62 | \$ 2,734.18 | \$ 3,862.09 | \$ 4,291.00 | \$ 4,032.33 | \$ 3,562.52 | \$ 4,565.85 | \$ 5,243.93 | \$ 4,918.68 | \$ 50,337.51 |
| Costo D. O ( Gls ) Caldera por falla (2.08 US | \$ 1,942.69 | \$ 6,306.26 | \$ 3,107.78 | \$ 4,056.72 | \$ 5,198.38 | \$ 5,093.52 | \$ 5,253.12 | \$ 5,555.70 | \$ 7,514.33 | \$ 6,662.12 | \$ 6,681.62 | \$ 2,493.88 | \$ 59,866.13 |
| Pago por llevarse el lodo USD                 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$138,697.96 |
| Ahorro anual                                  | \$17,412.40 | \$21,179.68 | \$20,170.45 | \$20,010.50 | \$19,490.73 | \$20,513.77 | \$21,102.29 | \$21,146.19 | \$22,635.01 | \$22,786.13 | \$23,483.71 | \$18,970.72 | \$248,901.60 |

## ANEXO 7 FLUJOS DE EFECTIVO 2020

| DESCRIPCIÓN                                   | ene-20      | feb-20      | mar-20      | abr-20      | may-20      | jun-20      | jul-20      | ago-20      | sep-20      | oct-20      | nov-20      | dic-20      | TOTAL        |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| HFO caldera (Gls)                             | 5919        | 5276        | 6539        | 4756        | 4884        | 5198        | 4861        | 7030        | 5788        | 7503        | 6635        | 7263        | 57754        |
| D. O ( Gls )                                  | 2231        | 2313        | 1671        | 4046        | 1318        | 1297        | 2004        | 2368        | 4820        | 2858        | 2232        | 0           | 27160        |
| D. O ( Gls ) Caldera por falla                | 1031        | 1113        | 471         | 2846        | 118         | 97          | 804         | 1168        | 3620        | 1658        | 1032        | 0           | 11269        |
| Costo HFO (1.04 USD)                          | \$ 5,629.09 | \$ 5,017.58 | \$ 6,218.72 | \$ 4,523.05 | \$ 4,644.78 | \$ 4,943.40 | \$ 4,622.91 | \$ 6,685.67 | \$ 5,504.51 | \$ 7,135.51 | \$ 6,310.02 | \$ 6,907.26 | \$ 68,142.51 |
| Costo D. O ( Gls ) Caldera por falla (2.08 US | \$ 1,363.48 | \$ 1,472.33 | \$ 622.22   | \$ 3,763.50 | \$ 156.61   | \$ 128.33   | \$ 1,063.74 | \$ 1,544.75 | \$ 4,787.82 | \$ 2,193.28 | \$ 1,365.25 | \$ -        | \$ 18,461.31 |
| Pago por llevarse el lodo USD                 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$11,558.16 | \$138,697.96 |
| Ahorro anual                                  | \$18,550.73 | \$18,048.08 | \$18,399.10 | \$19,844.72 | \$16,359.55 | \$16,629.90 | \$17,244.81 | \$19,788.59 | \$21,850.49 | \$20,886.95 | \$19,233.43 | \$18,465.42 | \$225,301.78 |

Nota: Los datos mostrados en los anexos 5, 6 y 7 fueron proporcionados por Planta 2.

Fuente: Plantas Térmicas de Honduras