



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

***ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA SOBRE LAS EMISIONES
INDIRECTAS DE CO₂ DURANTE EL TRATAMIENTO
PRIMARIO EN UNA PTAN***

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

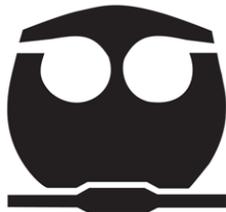
INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

IVETT RÍOS SANDOVAL

ASESOR DE TESIS

M en I Ma. Rafaela Gutiérrez Lara



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: José Antonio Ortiz Ramírez**

VOCAL: **Profesor: María Rafaela Gutiérrez Lara**

SECRETARIO: **Profesor: José Agustín García Reynoso**

1er. SUPLENTE: **Profesor: Sergio Adrián García González**

2° SUPLENTE: **Profesor: Gema Luz Andraca Ayala**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: CUBÍCULO 1, SÓTANO, EDIFICIO A.
FACULTAD DE QUÍMICA, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

ASESOR DEL TEMA:

MARÍA RAFAELA GUTIÉRREZ LARA

SUSTENTANTE:

IVETT RÍOS SANDOVAL

AGRADECIMIENTOS

AL PROGRAMA DE APOYO A PROYECTOS PARA LA INNOVACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA ENSEÑANZA (PAPIME) “DESARROLLO DE HERRAMIENTAS Y ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS PARA LA ASIGNATURA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL III PARA LA INGENIERÍA QUÍMICA” POR EL FINANCIAMIENTO DE UNA BECA PARA LA REALIZACIÓN DE LA TESIS.

Contenido

Resumen	9
Abstract	10
Introducción.....	11
Objetivo General	13
Antecedentes	13
Situación del país respecto al consumo de energía eléctrica..	13
Gases de efecto invernadero (GEI)	14
Normatividad aplicable en México	15
Ley General de Cambio Climático	15
Normas Mexicanas	15
I. Análisis de Ciclo de Vida	19
<i>Historia del ACV</i>.....	20
<i>Norma ISO 14040</i>	21
<i>Metodología del ACV</i>	23
Ventajas y Desventajas del ACV	27
Categorías de Impactos Ambientales.....	27
ACV Software	28
II. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).....	29
Pretratamiento	29
Tratamiento Primario	30
Tratamiento secundario o biológico.....	32
Tratamiento terciario.....	34
III. Caso de estudio:	37
Planta de Tratamiento de Aguas Negras (PTAN) del Valle de México.....	37
IV. Fase 1: Definición de objetivo y alcance	39
Objetivo.....	39
Alcance.....	39
Límites del sistema.....	39
Información necesaria.....	40
Procedimiento de Cálculo	41
V. Fase 2: Análisis de Inventario	47
Equipos en el Pretratamiento, Cárcamo de Bombeo y Tratamiento Primario	47
Diagrama de Flujo	50
Selección de datos.....	51
VI. Fase 3: Evaluación del impacto	52
Categorías de impacto	52

Resultados	54
ENTRADAS: Consumo energético (MWh)	54
SALIDAS: Emisiones de CO ₂ e (t CO ₂ e)	58
VII. Fase 4: Interpretación de resultados	66
Áreas de mejora	68
Conclusiones	69
Anexo I	71
Datos Variables	71
Anexo II	88
Datos Fijos	88
Referencias	93

Listado de Figuras

<i>Fig. A. 1 Emisión nacional de gases de efecto invernadero, por fuente, 1990-2010.</i>	<i>17</i>
<i>Fig. A. 2 Emisión nacional de gases de efecto invernadero, por contaminante, 1990-2010.</i>	<i>18</i>
<i>Fig. 1. 1 Fases de un ACV, de acuerdo a la norma ISO 14040.....</i>	<i>23</i>
<i>Fig. 1. 2 Elementos obligatorios y opcionales del EICV, de acuerdo a ISO 14040.....</i>	<i>26</i>
<i>Fig. 2. 1 Etapas en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).....</i>	<i>29</i>
<i>Fig. 4. 1 Límites del Sistema de Estudio en la PTAN del Valle de México</i>	<i>40</i>
<i>Fig. 5. 1 Rejillas Automáticas, PTAN Valle de México.....</i>	<i>47</i>
<i>Fig. 5. 2 Transportador de Sólidos, PTAN Valle de México.....</i>	<i>47</i>
<i>Fig. 5. 3 Bomba Vertical de Agua Negra, PTAN Valle de México</i>	<i>48</i>
<i>Fig. 5. 5 Caja de Distribución de Flujo, PTAN Valle de México.....</i>	<i>49</i>
<i>Fig. 5. 6 Clarificador Primario, PTAN Valle de México</i>	<i>50</i>
<i>Fig. 5. 7 Clarificadores Primarios, PTAN Valle de México.....</i>	<i>50</i>
<i>Fig. 5. 8 Diagrama de Flujo del Proceso de Pretratamiento y Tratamiento Primario, PTAN Valle de México</i>	<i>51</i>
<i>Fig. 6. 1 Gráfica de Consumo energético (MWh) en el Pretratamiento y Tratamiento Primario durante enero – octubre del 2016.....</i>	<i>57</i>
<i>Fig. 6. 2 Gráfica de Consumo energético (MWh) en el Cárcamo de Bombeo durante enero – octubre del 2016.....</i>	<i>57</i>
<i>Fig. 6. 4 Gráfica de las emisiones de CO₂ (t CO₂e) de los motores del Cárcamo de Bombeo en el escenario A y B.....</i>	<i>64</i>
<i>Fig. 6. 5 Gráfica de las emisiones de CO₂ (t CO₂e) de las bombas del Cárcamo de Bombeo en el escenario A y B.....</i>	<i>65</i>
<i>Fig. 6. 6 Gráfica de las emisiones de CO₂ (t CO₂e) del Tratamiento Primario en el escenario A y B.....</i>	<i>65</i>
<i>Fig. II. 1 Curva de Operación de las Bombas BAN-152-A, BAN-152-B y BAN-152-C</i>	<i>90</i>

Listado de Tablas

<i>Tabla A. 1 Normas Oficiales Mexicanas sobre la regulación de las emisiones de GEI a la atmósfera.</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 1. 1 Ventajas y Desventajas de un ACV.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 1. 2 Principales softwares para realizar un ACV</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 5. 2 Equipos en el Cárcamo de Bombeo de la PTAN Valle de México</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 5. 3 Equipos en la etapa de Tratamiento Primario de la PTAN Valle de México</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 6. 1 Consecuencias en la salud por diferentes niveles de CO₂</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 6. 2 Resumen de las entradas y salidas, y sus categorías de impacto</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 6. 3 Consumo de electricidad (MWh) en los equipos del Pretratamiento</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 6. 4 Consumo de electricidad (MWh) en los equipos del Cárcamo de Bombeo</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 6. 5 Consumo de electricidad (MWh) en los equipos del Tratamiento Primario</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 6. 6 Consumo de electricidad (MWh) mensual para el período de enero – octubre del 2016</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 6. 7 Emisiones de CO₂e (t CO₂e) para el Pretratamiento, escenario A</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 6. 8 Emisiones de CO₂e (t CO₂e) de los equipos eléctricos del Cárcamo de Bombeo, escenario A.</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 6. 10 Emisiones de CO₂e (t CO₂e) de los equipos del Tratamiento Primario, escenario A</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 6. 11 Emisiones de CO₂ (t CO₂eq) del Pretratamiento, Cárcamo de Bombeo y Tratamiento Primario durante el período de enero – octubre del 2016, escenario A.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 6. 13 Emisiones de CO₂e (t CO₂e) de los motores del Cárcamo de Bombeo, escenario B</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 6. 14.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 6. 15 Emisiones de CO₂e (t CO₂e) de los equipos del Tratamiento Primario, escenario B.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 6. 16 Emisiones de CO₂ (t CO₂e) del Pretratamiento, Cárcamo de Bombeo y Tratamiento Primario durante el período de enero – octubre del 2016, escenario B.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla I. 2 Corriente eléctrica (A) del motor de la rejilla RA-103-A durante enero – octubre del 2016</i>	<i>73</i>
<i>Tabla I. 3 Corriente eléctrica (A) del motor de la rejilla RA-103-B durante enero – octubre del 2016</i>	<i>74</i>
<i>Tabla I. 4 Corriente eléctrica (A) del motor de la rejilla RA-104-A durante enero – octubre del 2016</i>	<i>75</i>

<i>Tabla I. 5 Corriente eléctrica (A) del motor de la rejilla RA-104-B durante enero – octubre del 2016</i>	<i>76</i>
<i>Tabla I. 6 Corriente eléctrica (A) del motor del transportador de sólidos TS-105-A durante enero – octubre del 2016</i>	<i>77</i>
<i>Tabla I. 7 Corriente eléctrica (A) del motor del transportador de sólidos TS-105-B durante enero – octubre del 2016</i>	<i>78</i>
<i>Tabla I. 8 Corriente eléctrica (A) del motor de la bomba BAN-152-A durante enero – octubre del 2016</i>	<i>79</i>
<i>Tabla I. 9 Corriente eléctrica (A) del motor de la bomba BAN-152-B durante enero – octubre del 2016</i>	<i>80</i>
<i>Tabla I. 10 Corriente eléctrica (A) del motor de la bomba BAN-152-C durante enero – octubre del 2016.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla I. 11 Corriente eléctrica (A) del motor de la rastra RCP-301-A durante enero – octubre del 2016</i>	<i>82</i>
<i>Tabla I. 12 Corriente eléctrica (A) del motor de la rastra RCP-301-B durante enero – octubre del 2016</i>	<i>83</i>
<i>Tabla I. 13 Corriente eléctrica (A) del motor de la rastra RCP-301-C durante enero – octubre del 2016</i>	<i>84</i>
<i>Tabla I. 14 Corriente eléctrica (A) del motor de la rastra RCP-301-D durante enero – octubre del 2016.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla I. 15 Corriente eléctrica (A) del motor de la rastra RCP-302-A durante enero – octubre del 2016</i>	<i>86</i>
<i>Tabla I. 16 Corriente eléctrica (A) del motor de la rastra RCP-302-B durante enero – octubre del 2016</i>	<i>87</i>
<i>Tabla II. 1 Datos del motor de las rejillas automáticas gruesas (25mm) y finas (6mm)</i>	<i>88</i>
<i>Tabla II. 2 Datos del motor de los Transportadores de Sólidos (TS-105-A y TS-105-B)</i>	<i>88</i>
<i>Tabla II. 3 Datos del motor de las bombas de tipo vertical (BAN-152-A, BAN-152-B y BAN-152-C).....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla II. 4 Datos de las bombas BAN-152-A, BAN-152-B y BAN-152-C</i>	<i>89</i>
<i>Tabla II. 5 Datos del motor de las rastras RCP-301-A, RCP-301-B, RCP-301-C, RCP-302-A y RCP-302-B</i>	<i>91</i>

Resumen

Aproximadamente el 70% de la energía eléctrica en México es consumida por motores e instalaciones eléctricas, por lo que es necesario mantener una eficiencia adecuada en los procesos, instalaciones y equipamientos. En una Planta de Tratamiento de Aguas Negras (PTAN) por lo general se cuenta con cuatro etapas de tratamiento, y en cada una de ellas se involucran motores para el funcionamiento de los equipos, como bombas y rejillas.

El análisis de ciclo de vida (ACV) es una de las metodologías más completas para conocer el impacto ambiental de un proceso o un producto. En este caso se aplica el ACV a la Planta de Tratamiento de Aguas Negras (PTAN) del Valle de México para determinar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el consumo de energía eléctrica de los motores en el pretratamiento, cárcamo de bombeo y tratamiento primario de la planta.

El CO₂ es el principal gas de efecto invernadero (GEI), responsable del calentamiento global. Se genera por diversas actividades, siendo la quema de combustibles fósiles la principal fuente de emisión.

Las emisiones de GEI generadas por pérdidas energéticas en la transformación de la energía eléctrica a mecánica en los motores, se conocen como indirectas y se reportan en "tCO₂/MWh" (toneladas de dióxido de carbono equivalente por cada mega watt por hora). El factor de emisión de CO₂ empleado en los cálculos es dado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Abstract

Approximately 70% of electric power in Mexico is consumed by engines and electrical installations, so it is necessary to maintain an adequate efficiency in processes, facilities and equipment. In a Wastewater Treatment Plant (WWTP) there are usually four treatment phases, and in each of them, engines are involved to operate the equipment such as pumps and grids.

The Life Cycle Analysis (LCA) is one of the most complete methodologies to know the environmental impact of a process or a product. In this case, the LCA is applied to the Wastewater Treatment Plant of the Valley of Mexico to determinate the carbon dioxide (CO₂) emissions generated by the electric power consumption of the engines in the pretreatment, pumping station and primary treatment of the plant.

CO₂ is the main greenhouse gas (GHG), responsible of global warming. It is generated by various activities, but the burning of fossil fuels is the main source of emission.

GHG emissions generated by energy losses in the transformation of electrical to mechanical energy in engines are known as indirect emissions and are reported in "tCO₂/MWh" (tons of carbon dioxide equivalent per megawatt per hour). The CO₂ emission factor used in the calculations is given by the Federal Electricity Commission (CFE).

Introducción

La demanda de recursos naturales ha sido tan grande en las últimas décadas, que ha obligado a la población a reducir el uso de estos y buscar otras opciones sustentables tanto en agua, energía y materias primas. En México, no es la excepción, desde los años 90's la problemática del agua ha venido aumentando con fuerza, generando conflictos; no solo relacionados al deterioro o escasez del recurso hidrológico, sino también a la mala gestión en el país.

El agua es un recurso finito y no renovable, pero es reciclable, reutilizable e indispensable para el funcionamiento adecuado de la vida en el planeta. Aprovechando dichas características, es posible recurrir a diversos tratamientos de agua, generando la oportunidad de sustentabilidad.

Actualmente existen diversas tecnologías empleadas en las plantas de tratamiento de aguas residuales, capaces de retirar de forma efectiva los contaminantes presentes en el agua; cumpliendo con las normas, ya sea para un uso posterior de consumo humano, agrícola, o desecho a los cuerpos de agua.

El pretratamiento de las aguas residuales tiene por objeto remover, reducir o modificar sólidos gruesos, medios y finos, arenas de cierto tamaño y peso específico, y en ocasiones grasas y aceites contenidas en el agua residual, que pueden causar problemas operacionales o incrementar la necesidad de dar mantenimiento a los equipos por desgaste o atascamiento con los materiales antes mencionados (SEMARNAT).

Mientras que la siguiente etapa, identificada como tratamiento primario se eliminan los sólidos en suspensión a través del proceso de sedimentación simple por gravedad o por el uso de coagulantes y floculantes.

Debido a las operaciones físicas y/o mecánicas en ambos tratamientos, se requiere del uso de energía eléctrica para el funcionamiento de los equipos utilizados, como motores y bombas. El principal impacto ocasionado por el consumo energético, son los Gases de Efecto

Invernadero (GEI) que promueven el calentamiento global.

El ahorro y la eficiencia energética debe ser uno de los objetivos prioritarios dentro del funcionamiento en la instalación de una Planta de Tratamiento de Aguas Negras (PTAN) lo que conllevará no solo el aumento de la productividad en la misma sino a contribuir al objetivo común que debe ser la evolución del modelo económico global hacia uno más sostenible, más competitivo y basado en bajas emisiones de carbono; un modelo que asegure el respeto al medio ambiente, mantenga la competitividad de las empresas y la seguridad del suministro energético (Díaz, Folgueras, 2011).

Existen diversas técnicas de gestión ambiental, la que se empleará en este trabajo corresponde al Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Recordando que existen otras como Evaluación del Desempeño Ambiental (EDA), Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA), Auditoría Ambiental y Evaluación del Impacto Ambiental (EIA).

Generalmente el ACV no considera los asuntos económicos o sociales de un producto, pero el enfoque del ciclo de vida y las metodologías descritas en la Norma Internacional ISO (International Standards Organisation) 14040 se pueden aplicar a estos otros aspectos.

Objetivo General

Aplicar la técnica de gestión ambiental conocida como Análisis de Ciclo de Vida (ACV) a la Planta de Tratamiento de Aguas Negras (PTAN) del Valle de México, con el fin de determinar las emisiones indirectas de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera, causadas por los equipos eléctricos en la etapa del tratamiento primario. Así mismo, brindar una propuesta de mejora para disminuir dichas emisiones.

Antecedentes

Situación del país respecto al consumo de energía eléctrica

Enfrentar al cambio climático sin sacrificar el crecimiento económico del país se ha vuelto uno de los principales retos de hoy en día. Aunado a esto, la creciente población demanda cada vez más recursos, como es el caso de la energía eléctrica.

Es importante mencionar que la principal causa del desperdicio de energía es su uso irracional, ocasionado como consecuencia de malos hábitos y acciones, o por la ineficiencia de procesos, instalaciones y equipamientos (CONAGUA, 2014).

Debido a esto es necesario una gestión encargada de mejorar la eficiencia del uso del recurso energético, disminuyendo las pérdidas en cada uno de los organismos operadores.

El continuo cambio de la densidad poblacional en el país ha aumentado el consumo de recursos energéticos, alrededor del 70 por ciento de la energía generada es consumida por motores e instalaciones eléctricas, por lo que su operación y conservación representa un aspecto importante para el ahorro de energía en los sistemas de bombeo, plantas de tratamiento y potabilizadoras (CONAGUA, 2014).

Gases de efecto invernadero (GEI)

Los gases de efecto invernadero son los principales causantes del calentamiento global. Estos gases se emiten a la atmósfera de manera natural, ayudando a mantener la temperatura adecuada para la vida, a través de los siguientes fenómenos:

- Evaporación del agua – H_2O
- Respiración de los seres vivos, descomposición de la materia orgánica muerta e incendios naturales – CO_2
- Humedales durante su proceso digestivo – CH_4
- Descomposición bacteriana de la materia orgánica – N_2O
- Unión natural de tres átomos de oxígeno – O_3

Pero son los GEI emitidos de manera antropogénica, es decir, mediante actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles y la deforestación de bosques; los que causan el sobrecalentamiento de la tierra, ya que aumentan la composición natural de los gases.

La función de los GEI es permitir que la luz que proviene del sol atraviese la atmósfera, pero no dejar salir una parte de la radiación infrarroja rebotada por la tierra, provocando así el efecto invernadero y el calentamiento del aire.

El dióxido de carbono (CO_2) es el mayor responsable del calentamiento global, debido a la quema de combustibles fósiles para hacer funcionar los motores de los automóviles o producir electricidad; a esto se le conoce como emisiones directas. En esta tesis se realizará el cálculo del CO_2 emitido a la atmósfera, pero a través de emisiones indirectas, es decir, pérdidas energéticas en los motores y bombas de una PTAN.

Cabe mencionar que cuando se lleva a cabo un tratamiento anaeróbico de lodos o se tiene un reactor anaeróbico en un planta de tratamiento de agua residual, se produce una cantidad significativa de metano (CH_4), el cual contribuye hasta 33 veces más al calentamiento global que el CO_2 .

La cantidad de CH₄ producido depende principalmente de la cantidad de materia orgánica degradable contenida en las aguas residuales, de la temperatura y del tipo de sistema de tratamiento (IPCC, 2006).

En el tratamiento aeróbico también se puede producir metano, pero por un mal diseño del tratamiento o una mala gestión; a diferencia del tratamiento anaeróbico en donde el metano se emite principalmente por un mal tratamiento del agua, o al no ser recuperado para la producción de electricidad ni quemado en la antorcha del biodigestor.

Normatividad aplicable en México

Ley General de Cambio Climático

La Ley General de Cambio Climático (LGCC) vigente a partir del 2012 reconoce la necesidad de una transición hacia una economía competitiva de bajas emisiones de carbono, regulando los gases de efecto invernadero, estableciendo una meta de reducir los GEI en 30% para el 2020 y un 50% para el 2050 respecto a las emitidas en el 2000. Además de promover la generación de energía por fuentes renovables y el manejo adecuado de residuos, recurriendo a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías para lograrlo.

En el Reglamento de la LGCC en materia de registro de emisiones, se define una emisión indirecta como aquellas que se generan fuera del establecimiento sujeto a reporte como consecuencia de su consumo de energía eléctrica y térmica.

Así como la Ley General de Cambio Climático (LGCC) también existe la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), que promueve la reducción de las emisiones provenientes de cualquier fuente mediante el uso de tecnologías nuevas y procesos.

Normas Mexicanas

Algunas de las Normas Oficiales Mexicanas más importantes relacionadas a las emisiones de GEI y por lo tanto al cambio climático, son las observadas en la Tabla A.1.

Tabla A. 1 Normas Oficiales Mexicanas sobre la regulación de las emisiones de GEI a la atmósfera.

NORMA	TEMA
NOM-040-SEMARNAT-2002	Protección Ambiental - Fabricación de Cemento Hidráulico - Niveles máximos de emisión a la atmósfera.
NOM-041-SEMARNAT-2015	Establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.
NOM-043-SEMARNAT-1993	Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.
NOM-045-SEMARNAT-2006	Protección ambiental.- Vehículos en circulación que usan diésel como combustible.- Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición.
NOM-076-SEMARNAT-2012	Establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del escape, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos nuevos en planta.
NOM-085-SEMARNAT-2011	Contaminación atmosférica- Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición.
NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005	Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental.
NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013	Emisiones de bióxido de carbono (CO ₂) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3 857 kilogramos.
NOM-EM-167-SEMARNAT-2016	Establece los niveles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en la Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; los métodos de prueba para la certificación de dichos niveles y las especificaciones de los equipos que se utilicen para dicha certificación, así como las especificaciones para los equipos tecnológicos que se utilicen para la medición de emisiones por vía remota y para la realización de dicha medición.

De acuerdo con el último Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI), entre 1990 y 2010 las emisiones nacionales de GEI crecieron al 1.45% anual; la emisión total de GEI entre 1990 y 2010 aumentó 33.4%, totalizando en este último año 748 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente (MtCO₂e). Si se analiza por fuente, el sector energético (que incluye el consumo de combustibles fósiles y las emisiones fugitivas) es el que contribuye con el mayor volumen de GEI en el país: en 2010 poco más del 67% del total provino de este sector. Dentro de este sector, el consumo de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones: entre 1990 y 2010 fue de 48.6 y 56.2%, respectivamente, del volumen total de GEI (SEMARNAT, 2013).

En la Figura A.1. se muestra la tendencia de las emisiones para el periodo de año considerado.

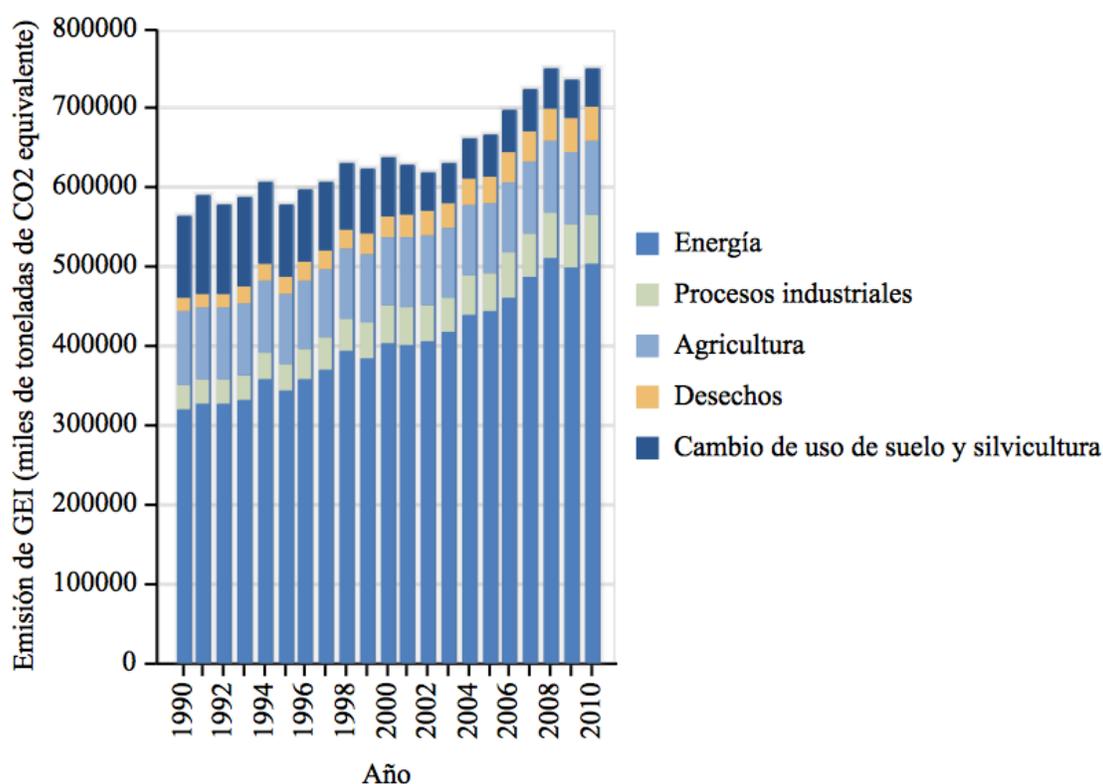


Fig. A. 1 Emisión nacional de gases de efecto invernadero, por fuente, 1990-2010.

Fuente: Coordinación del programa de Cambio Climático. INECC. SEMARNAT. México 2012

Nota: Las emisiones de GEI reportadas por el INECC están expresadas en millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente (MtCO₂e), pero considerando las unidades del sistema métrico decimal como guía de futuras interpretaciones, se puede tomar en cuenta la equivalencia: "1MtCO₂e = 1TgCO₂e".

De los seis principales GEI considerados por el Protocolo de Kioto, que incluyen al CO₂, metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), dos sumaron el 88% del volumen de GEI emitido en 2010: el CO₂, que totalizó el 66% del total y el metano, con alrededor del 22%.

Por el crecimiento de su volumen de emisión en el periodo 1990-2010, destacan el CH₄ (60%), el CO₂ (24%) y el N₂O (23%). En contraste, los PFC redujeron su volumen de emisión un 80%, lo que se explica por la reducción en la producción nacional de aluminio para la cual se emplean. Aunque los HFC y el SF₆ muestran un gran crecimiento entre 1990 y 2010 (2 307 y 320%, respectivamente), debe considerarse que sus volúmenes de emisión son muy pequeños comparados con los restantes gases (SEMARNAT, 2013).

En la Figura A. 2 se observa la emisión de gases de efecto invernadero durante el período de 1990 – 2010 por contaminante.

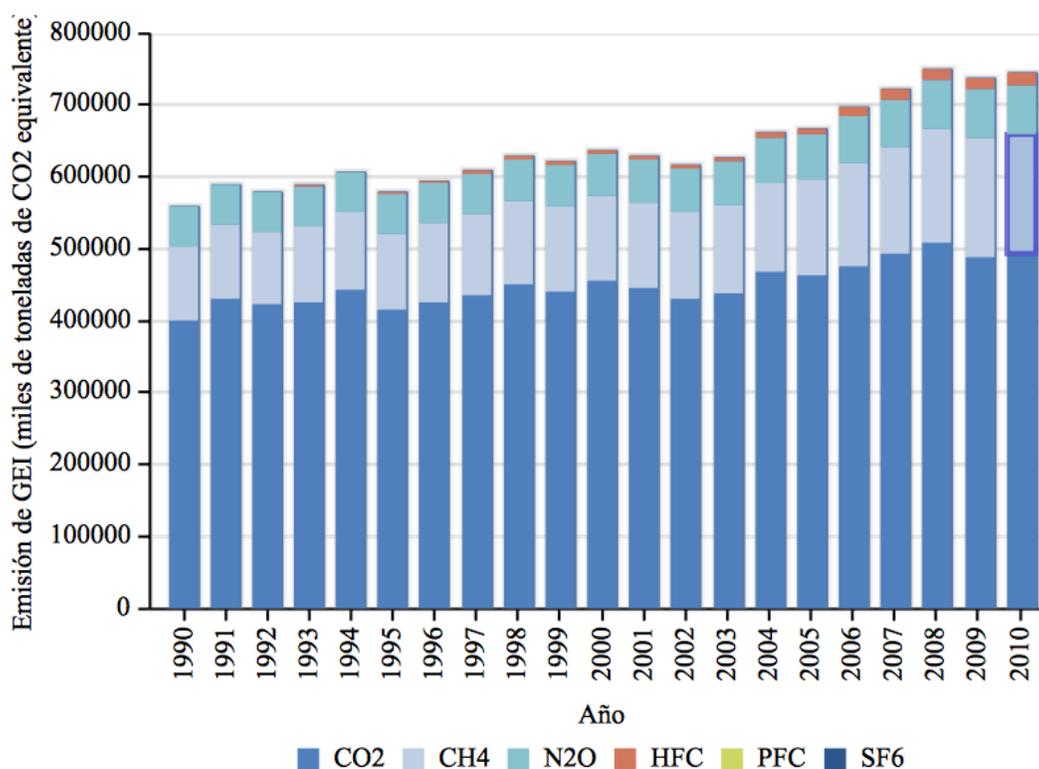


Fig. A. 2 Emisión nacional de gases de efecto invernadero, por contaminante, 1990-2010.

Fuente: Coordinación del programa de Cambio Climático. INE. SEMARNAT. México 2012

I. Análisis de Ciclo de Vida

La evaluación ambiental de procesos químicos en la actualidad es de gran importancia, por los posibles impactos y riesgos asociados a la fabricación de productos y/o servicios. Además, hoy en día las normas tanto nacionales como internacionales, son cada vez más estrictas respecto a la protección ambiental; hecho que hace años atrás no se tomaba en gran consideración al momento de construir una planta o de crear un nuevo proceso.

El Análisis del Ciclo de Vida (LCA por sus siglas en inglés) es una técnica creada en los años sesentas, pero desarrollada aceleradamente en los noventas, con el propósito de estudiar los aspectos medioambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un proceso o producto; es decir, desde la adquisición de las materias primas hasta la producción, uso y eliminación.

Un ACV es utilizado para comparar servicios y/o cantidades de producto que lleven a cabo la misma función, más no para comparar productos entre sí. De acuerdo con la normativa ISO 14040 (ISO. 1997), un proyecto de ACV se puede dividir en cuatro fases:

- 1) Objetivos y alcance del estudio
- 2) Inventario
- 3) Análisis del impacto
- 4) Interpretación

En cada fase deben detallarse las categorías de impacto, indicadores que se emplean y las posibles limitaciones que conlleva el uso de esta metodología. Los impactos sobre el medio ambiente pueden provenir de un producto, servicio o actividad; así que la idea del ACV es realizar un inventario de estos, para después evaluarlos y tomar decisiones.

En un informe de un ACV, se deberán mostrar los efectos ambientales ocasionados desde el consumo de materias primas y de energía para la manufactura, las emisiones durante la fabricación o transporte del objeto de estudio, los residuos generados y los efectos generados a partir del fin del tiempo de vida, después de ser generado o consumido, según sea el caso.

Historia del ACV

El desarrollo del ACV se originó casi simultáneamente en Estados Unidos y Europa. Si bien el primer ACV fue realizado en 1969 por el Midwest Research Institute (MRI) para Coca-Cola, donde la premisa fundamental fue disminuir el consumo de recursos y, por lo tanto, disminuir la cantidad de emisiones al ambiente. Los estudios continuaron durante los años setenta, y grupos como Franklin Associates Ltd. junto con la MRI realizaron más de 60 análisis usando métodos de balance de entradas/salidas e incorporando cálculos de energía (Romero, 2003).

Por la misma época, en el año de 1972 en el Reino Unido, Lan Boustead se dedicó a calcular la energía total consumida, para la fabricación de diversos tipos de envases: vidrio, plástico, acero y aluminio, para bebidas.

Durante la crisis del petróleo a principios de los años 70, se extendieron los estudios sobre energía, los cuales se basaban en los Inventarios de Ciclo Vida (ICV), es decir, de la recogida y elaboración de inventarios de cargas ambientales a lo largo del ciclo de vida. Dichos estudios fueron realizados para una variedad de sistemas industriales (Fava & Page, 1992).

Entre el transcurso de 1970 a 1974, la Environmental Protection Agency (EPA) después de haber realizado 9 estudios de envases para bebidas, recomendaron que el análisis de ciclo de vida no era viable para aplicarse por empresas pequeñas, por su alto costo y demanda de tiempo. Sin embargo, fueron los años 80's los que dieron un gran impulso al desarrollo del ACV, introduciendo los métodos para cuantificar el impacto del producto en distintas categorías de problemas ambientales y permitiendo el acceso al público en general para el uso de esta técnica.

La Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) es la principal organización que ha desarrollado y liderado las discusiones científicas acerca del ACV. En 1993, formuló el primer código internacional: Código de prácticas para el ACV (Code of Practice for Life Cycle Assessment), con el fin de homogeneizar los diversos estudios realizados para que siguieran una misma metodología. Esto impulsó el inicio de desarrollos masivos de ACV en diversas áreas de interés mundial, pues se realizaron conferencias, talleres y políticas sobre ACV (Romero, 2003).

Así al hacer constantemente cambios a la estructura del análisis de ciclo de vida, la ISO estableció una estructura de trabajo, logrando estandarizar los métodos, procedimientos y terminologías concernientes al ACV. Pero a pesar de todo este desarrollo, se sigue considerando que la técnica está en una etapa temprana, por la falta de práctica en diversas áreas. Reportando su uso especialmente en el sector de envases, y menormente en la industria química, del plástico, materiales de construcción y sistemas energéticos.

Durante la historia del ACV, también se puede ejemplificar la creciente preocupación por el cuidado del ambiente; en los inicios de la técnica los intereses se centraban en el consumo energético y no de igual forma, en la generación de residuos, descargas y emisiones. A diferencia de cómo lo es ahora, en donde se está comenzando a valorar la importancia de realizar un ACV en los procesos de producción de cualquier producto y/o servicio.

Norma ISO 14040

En 1994, se estableció el comité técnico TC207 dentro de la ISO, encargado de la normalización de herramientas ambientales, incluido el ACV. Por lo tanto, dentro de la normalización ISO deberán distinguirse entre normativas e informes técnicos.

Las 4 normativas relacionadas con el ACV son las siguientes:

- ISO 14040 (1997): Especifica el marco general, principios y necesidades básicas para realizar un estudio de ACV, aunque no se describe a detalle la técnica (ISO 14040,1997).

- ISO 14041 (1998): Se especifican las necesidades y procedimientos para elaborar la definición de los objetivos y alcance del estudio, así como para realizar, interpretar y elaborar el informe del análisis del inventario del ciclo de vida, ICV (ISO 14041,1998).
- ISO 14042 (2000): Se describe y establece una guía de la estructura general de la fase de análisis del impacto, AICV. Se especifican los requerimientos para llevar a cabo una AICV y se relaciona con otras fases del ACV (ISO-14042, 2000).
- ISO 14043 (2000): Proporciona las recomendaciones para realizar la fase de interpretación de un ACV o los estudios de un ICV, no se especifican metodologías determinadas para llevar a cabo esta fase (ISO-14043, 2000).

Los documentos técnicos para ayudar a la elaboración de un ACV, son los siguientes:

- ISO TR 14047 (2002): Proporciona un ejemplo de cómo aplicar la norma ISO 14042 (ISO-14047,2002).
- ISO/CD TR 14048 (2002): Proporciona información en relación con los datos utilizados en un estudio de ACV (ISO-14048, 2002).
- ISO/TR 14049 (1998): Proporciona ejemplos para realizar un ICV de acuerdo con ISO 14041. Estos ejemplos deberán entenderse como no exclusivos y que reflejan parcialmente un ICV (ISO-14049, 1998).

Metodología del ACV

Los datos e información involucrados en las entradas y salidas de un proceso, deben presentarse como una unidad funcional, describiendo el objetivo principal de la actividad de estudio a la que se le estará aplicando la evaluación ambiental.

Una vez descrita la función de la actividad, es posible realizar comparaciones bajo diferentes condiciones de la misma, permitiendo así, al final del análisis sugerir un plan de mejora u optimización.

La metodología actual del ACV, involucra una serie de puntos interrelacionados, si el análisis no se desea realizar a profundidad, se puede llegar a obviar algún paso.

La norma ISO 14040:1997, establece que el ACV consta de cuatro fases:

- 1) Definición de los objetivos y el alcance
- 2) Análisis de inventario
- 3) Evaluación del impacto
- 4) Interpretación de resultados

En la Figura 1.1 se presenta un diagrama citando las cuatro fases

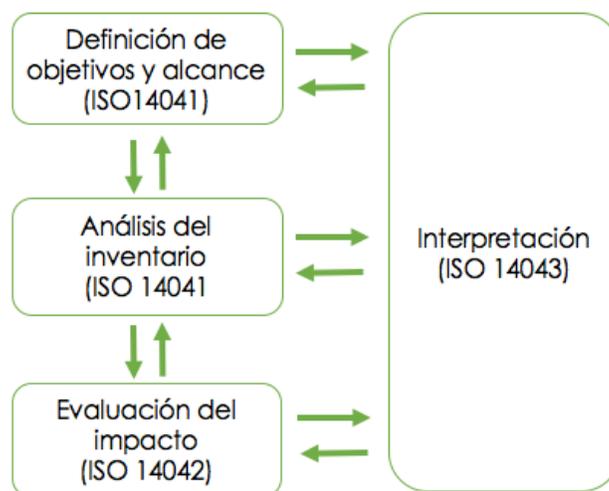


Fig. 1. 1 Fases de un ACV, de acuerdo a la norma ISO 14040

La segunda y tercera fase, se caracterizan por ser las activas o dinámicas, mientras que la primera y la última se consideran estáticas. El AVC es un proceso que se enriquece a sí mismo, mediante las retroalimentaciones que se pueden presentar, es decir, las hipótesis con las que se haya empezado alguna de las fases, se pueden corregir o re direccionar, con base en los resultados obtenidos a partir de la fase siguiente, permitiendo dirigir el avance hacia una nueva meta o simplemente ampliar los conocimientos.

Hay casos en los cuales el objetivo de un ACV se puede satisfacer desarrollando únicamente un análisis de inventario y una interpretación. Generalmente se hace referencia a esto como un estudio de Inventario del Ciclo de Vida (ICV) (ISO, 2006). Por lo tanto, ésta Norma Internacional abarca dos tipos de estudio: análisis del ciclo de vida (estudios de ACV) y análisis del inventario del ciclo de vida (estudios del ICV).

1) Definición del objetivo y el alcance

La profundidad y detalle en el ACV, depende principalmente del objetivo planteado. Mientras que en el alcance, se especifican los límites y el nivel de detalle, derivado del uso pronosticado del estudio.

2) Análisis de inventario (ICV)

Implica la recopilación de datos e información necesaria de las entradas y salidas relacionados al proceso bajo estudio, con la meta de cumplir el objetivo definido.

3) Evaluación de impacto (EICV)

El objetivo principal de esta fase, es proporcionar información adicional que ayude a analizar y evaluar de forma más objetiva los resultados del inventario previamente elaborado.

La normativa ISO 14042 determina la estructura de ésta fase, mediante elementos obligatorios y opcionales.

❖ Elementos obligatorios

1. Selección de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos.

2. Clasificación: Según el efecto ambiental, se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto. Reconociendo estas categorías como la agrupación que representa las consecuencias generadas por los procesos o sistemas de productos.

Cada categoría de impacto, por ejemplo: Acidificación, precisa de una representación cuantitativa denominada indicador de la categoría, ejemplo: Emisión de ácido equivalente.

3. Caracterización: Mediante los factores de caracterización, los datos del inventario se modelan para cada una de las categorías de impacto.

❖ Elementos Opcionales

a. Normalización: Relación de la magnitud cuantificada para una categoría de impacto respecto un valor de referencia, ya sea a escala geográfica y/o temporal.

b. Agrupación: Clasificación y posible catalogación de los indicadores.

c. Ponderación: Establecer factores que otorgan una importancia relativa a las distintas categorías de impacto, para después sumarlas y obtener un resultado ponderado en forma de un único índice ambiental global del sistema.

d. Análisis de calidad de los datos: En análisis comparativos es obligatorio, ayuda a entender la fiabilidad de los resultados del ACV.

En la Figura 1.2 se muestran los elementos obligatorios y opcionales en la fase de evaluación del impacto, bajo la normatividad establecida en la ISO 14040.

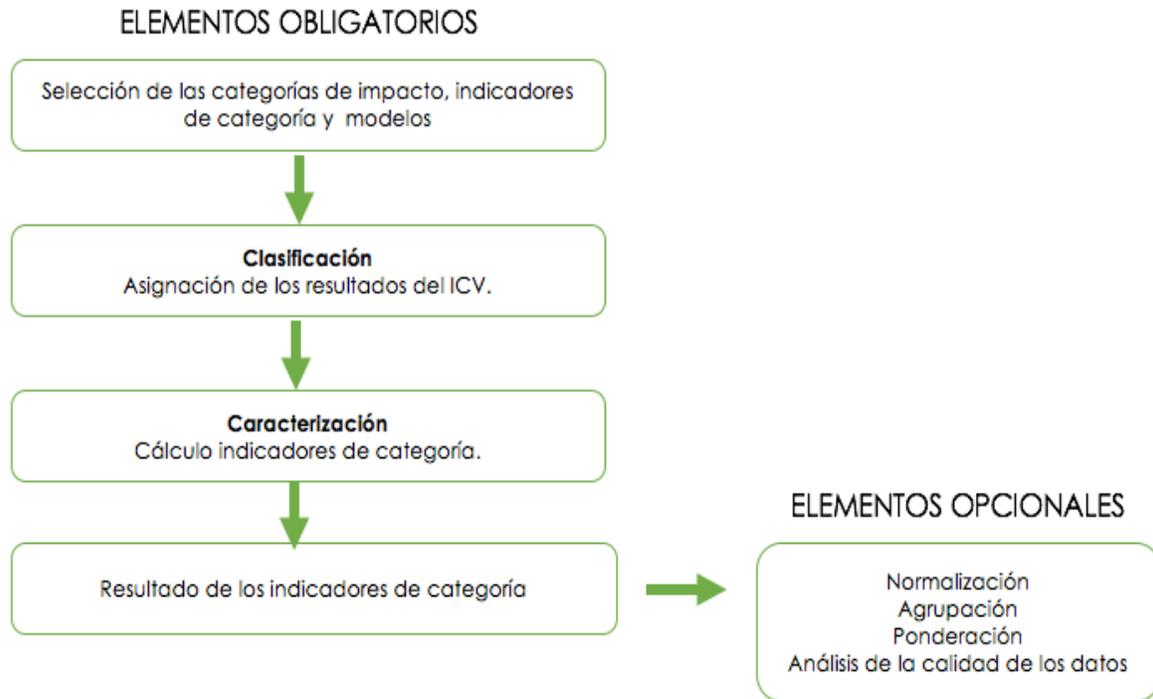


Fig. 1. 2 Elementos obligatorios y opcionales del EICV, de acuerdo a ISO 14040

La salud humana, entorno natural y recursos renovables, son las 3 categorías de impacto final que la ISO 14042 define de manera implícita como áreas de protección.

4) Interpretación de resultados

En la fase final, se resumen y discuten los resultados tanto del inventario como de la evaluación de impacto, siendo éstos la base de la conclusión, recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo al alcance y objetivos planteados.

Ventajas y Desventajas del ACV

En la Tabla 1.1 Se presentan las ventajas y desventajas de un ACV

Tabla 1. 1 Ventajas y Desventajas de un ACV

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Identifica oportunidades de mejora en las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto.	1. No existen bases de datos ambientales nacionales.
2. Aporta información para tomar decisiones relacionadas a la planeación estratégica, diseño y rediseño.	2. La difusión de los datos de ACV es reducida.
3. Selección de indicadores de desempeño ambiental, como las técnicas de medición e incluso estrategias de marketing.	3. Existe una cierta complejidad en la comprensión de los documentos de ACV.
4. Existe una buena aceptación de la metodología del ACV por parte de todos los sectores.	4. No incorpora aspectos sociales y económicos.
5. Realiza un análisis global de los problemas ambientales.	5. Al analizar un sector nuevo suelen existir dificultades.

Categorías de Impactos Ambientales

Las siguientes categorías de impacto están asociadas al Ciclo de Vida de Productos y Servicios.

- Impactos sobre los recursos renovables y no-renovables
- Potencial de calentamiento global (Huella de carbono)
- Potencial de deterioro de la capa de ozono
- Potencial de acidificación
- Potencial de creación foto-química de ozono
- Toxicidad (humana, terrestre, acuática)
- Uso de energía y de agua

ACV Software

Actualmente existen diferentes herramientas informáticas que facilitan el cálculo de un análisis de ciclo de vida, especialmente las fases de inventario, evaluación de impactos e interpretación de resultados.

Su funcionamiento depende de una base de datos; de un programa a otro, varían la calidad, el precio y la extensión de dicha base. Pero en la mayoría de los programas comerciales, se incluyen las bases de datos de inventarios públicos.

SimaPro y GaBi son dos de las herramientas de software más utilizadas actualmente, y ambas sirven para la evaluación de cualquier proceso o producto. En la Tabla 1.2 se muestran otras herramientas existentes en el mercado.

Tabla 1. 2 Principales softwares para realizar un ACV

Software	Compañía	País	Observaciones
SimaPro	Pré-consultants	Países Bajos	Compara y analiza complejos productos descomponiéndolos en todos sus materiales y procesos
GaBi	Stuttgart University	Alemania	Contiene las herramientas clásicas de un ACV, y además ofrece un análisis económico
Boustead	Bousted Consulting	Reino Unido	Se aplica en la industria química, plástico, acero
LCAit	Chalmers Industritenik	Suecia	Balances de energía y materia. Se usa principalmente en el sector de envases y productos de papel
Euklid	Fraunhofer-Institut	Alemania	Productos industriales
KCL ECO	Finnish Pulp and Paper Research Institute	Finlandia	Industria papelera
WISARD	Pricewaterhouse Coopers	Francia	Análisis del impacto económico y ambiental del residuo sólido municipal
Umberto	Ifeu-Institut	Alemania	Preparación de un ACV, ecobalances empresariales
TEAM	Ecobilan	Francia	Su base de datos incluye más de 500 módulos de diferentes sectores

II. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

En una PTAR se debe contar con una configuración completa y avanzada, el proceso de tratamiento de aguas residuales se realiza principalmente en cuatro etapas, tal como se observa en la figura 2.1.

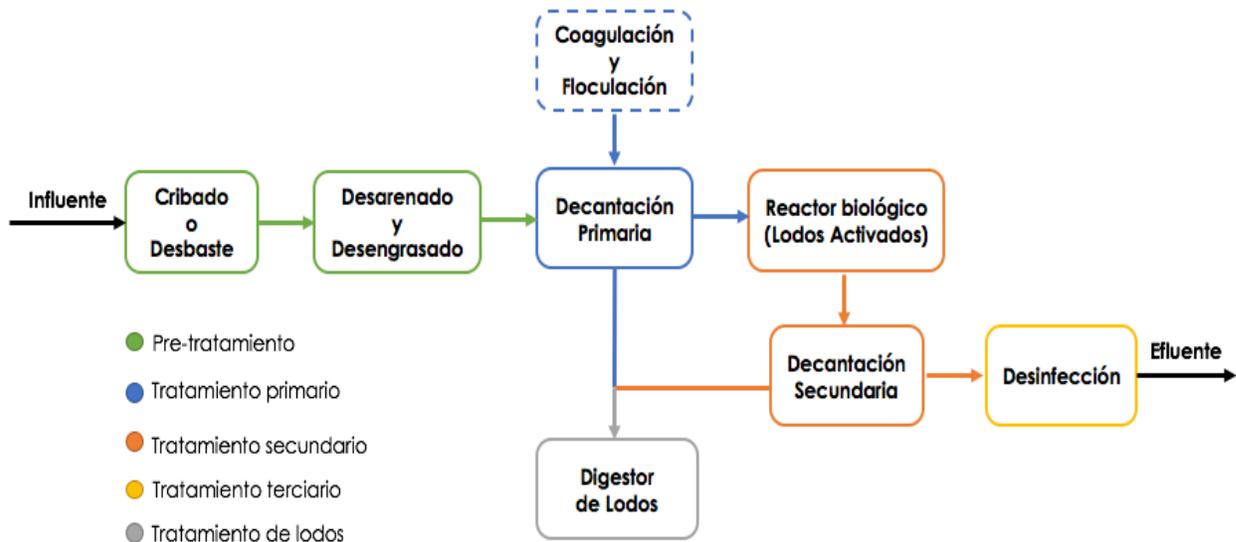


Fig. 2. 1 Etapas en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

El pretratamiento y el cárcamo de bombeo, la mayoría de las veces se engloban en el tratamiento primario lo cual se ha mencionado en la literatura. A continuación se explicarán por separado para un mayor entendimiento.

Pretratamiento

El pretratamiento, al ser la primera etapa tiene como objetivo eliminar sólidos, materia flotante o en suspensión, arena, aceite, grava, grasas y muchos otros compuestos residuales; para no dañar los equipos siguientes y hacer el proceso más efectivo.

El pozo de gruesos es una balsa honda donde mediante la sedimentación se retiran los materiales gruesos más pesados, tales

como piedras y gravas, las cuales posteriormente se sacarán con ayuda de un sistema mecánico.

Después en el cribado o desbaste, el agua residual pasa a través de una serie de rejas y rejillas colocadas de mayor a menor tamaño de paso, con el fin de eliminar los residuos sólidos de medida pequeña en suspensión, como plásticos, restos de comida, trapos, etc. Las rejillas pueden ser manuales o automáticas.

Finalmente en el desarenador/desgrasado, que es un tanque alargado de grandes dimensiones, la velocidad de paso del agua residual a lo largo del canal disminuye, para que las arenas se sedimenten en el fondo del tanque.

Debido a la ausencia de agitación, se aprovecha la diferencia de densidades para separar la grasa mediante el sistema de flotación por aire disuelto (DAF por sus siglas en inglés). En el tanque se inyecta aire por la parte inferior, para formar burbujas gruesas que ayudarán a las gotas de aceite a que se vayan juntando en el seno de la fase acuosa a flotar y concentrarse en la superficie, para después ser removidas por otro dispositivo.

Tratamiento Primario

El tratamiento primario consiste en la eliminación de sólidos de suspensión y partículas coloidales que se mantienen en forma estable en el agua. Para lograrlo se emplean procesos fisicoquímicos, como: sedimentación, coagulación, floculación y filtración.

En la actualidad las rejillas finas pueden ser utilizadas para reemplazar al tratamiento primario en pequeñas plantas de aguas residuales de hasta 130 litros por segundo de capacidad de diseño; sin embargo, en la práctica se ha utilizado para plantas de mayor gasto, funcionando adecuadamente (CONAGUA, 2014).

Sedimentación

También llamada decantación, es un proceso físico de separación por gravedad, donde las partículas más densas se depositan en el fondo del sedimentador. Es función de la densidad del líquido, del tamaño, del peso específico y de la morfología de las partículas.

La sedimentación primaria reduce el contenido de sólidos sedimentables y material flotante de aguas residuales crudas. Existen diferentes tipos de sedimentadores de acuerdo a las características de las partículas a sedimentar (tamaño, forma, concentración, densidad).

- Sedimentadores rectangulares: La velocidad de desplazamiento horizontal del agua es constante y se suelen utilizar para separar partículas densas y grandes (arenas), son equipos poco profundos.
- Sedimentadores circulares: El flujo de agua suele ser radial desde el centro hacia el exterior, por lo que la velocidad de desplazamiento del agua disminuye al alejarnos del centro del sedimentador.

Coagulación- Floculación

La coagulación consiste en añadir sales metálicas, tales como el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), que por diferencia de cargas electromagnéticas permite la unión entre partículas muy pequeñas, formando unos coágulos visibles a simple vista. Pero estas partículas llamadas, coloidales son de peso muy ligero, por lo que aún no es posible hacerlas sedimentar; de ahí que sea necesario un segundo paso, denominado floculación.

En la floculación se añaden polímeros en el agua, para que los coágulos se unan y formen flóculos, los cuales al ser más pesados, permiten la decantación.

Tratamiento secundario o biológico

Debido a la alta carga de contaminantes solubles en el agua residual es necesario emplear procesos bioquímicos para removerlos. Por lo tanto el tratamiento secundario tiene como objetivo degradar la materia orgánica mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica seguido de una sedimentación. La materia orgánica a degradar está compuesta principalmente por residuos humanos, de alimentos y detergentes.

La estabilización de la materia orgánica mediante procesos bioquímicos consiste en su conversión en productos finales estables como dióxido de carbono o nitrógeno. Mediante estos procesos, también se logra la formación de consorcios microbianos que son removidos mediante una operación física posterior (CONAGUA, 2013).

La degradación biológica es realizada por los microorganismos, principalmente bacterias, presentes en el agua residual que aprovechan los nutrientes (carbono, nitrógeno, fósforo y oxígeno si es el caso) disueltos en el agua para su propio crecimiento; y una vez que se han reproducido se conglomeran para formar flóculos macroscópicos que son posibles decantar.

El proceso biológico que se utiliza en los tratamientos puede variar, ya que hay diferentes aspectos a tomar en cuenta como, la configuración del reactor relacionada a la forma en que los microorganismos crecen en el sistema (suspendidos en el líquido sometido a tratamiento o adheridos a un soporte sólido) y la más importante el ambiente químico, es decir, los aceptores de electrones en el proceso de oxidación, en donde se pueden encontrar tres clasificaciones:

- Digestión aerobia

El oxígeno es el receptor final de electrones preferido por cualquier célula; lo que conlleva a una importante generación de lodos, debido al alto crecimiento de las bacterias en condiciones aerobias. Pero con la limitación de la carga a tratar, por lo que se emplean en plantas con una capacidad relativamente baja. Las principales ventajas de la digestión

aerobia son: menores concentraciones de DBO en el líquido; menor inversión inicial; obtención de producto final biológicamente estable, sin olores. La principal desventaja es un mayor costo energético asociado al suministro del oxígeno (SEMARNAT,2013).

Las principales configuraciones de reactores aerobios son:

- Lodos activados, en donde el cultivo se mantiene en suspensión.
- Biomasa fija, en donde los microorganismos se mantienen adheridos en un material de soporte, ya sea natural o sintético.

- **Digestión anaerobia**

El receptor de electrones es la propia materia orgánica que actúa como fuente de carbono; y consiste en la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular generando dos productos principales: biogás (compuesto principalmente por metano) que puede ser revalorizado en la producción de energía eléctrica y lodo estabilizado, del cual se producen pocas cantidades.

Los tipos de reactores que se utilizan son completamente cerrados, donde se introducen los lodos de forma continua o intermitente, permaneciendo por largos tiempos; además se controlan los parámetros como la temperatura para favorecer el proceso de fermentación anaeróbica.

El lodo estabilizado tiene una concentración reducida de materia orgánica y agentes patógenos vivos.

Los digestores utilizados se clasifican en reactores de baja y alta carga.

- Baja Carga: la mezcla de lodos no se calienta ni se mezcla, los tiempos de retención varían entre 30 y 60 días.
- Alta Carga: disponen de dispositivos para el calentamiento y mezcla del lodo contenido en el digestor. Los procesos para la mezcla de los lodos se efectúan mediante la recirculación de los gases, con mezcladores mecánicos, de bombeo o con tubos de aspiración. El tiempo de retención es menor a 15 días.

Los dos procesos pueden combinarse en lo que se denomina proceso de doble etapa.

- **Digestión anóxica**

Un medio anóxico se define como la condición en la cual no se presenta oxígeno libre y el nitrato es utilizado por los microorganismos como receptor de electrones. Cuando el nitrato es el receptor, el nitrógeno de la molécula de nitrato es transformado en nitrógeno gas. Así pues, este metabolismo permite la eliminación biológica del nitrógeno en agua residual (desnitrificación).

En este caso solamente la materia inorgánica es la donadora de electrones.

Para el tratamiento de los lodos generados, ya sean generados por cualquier tipo de digestión, el compostaje es una alternativa económica y amigable con el ambiente para la estabilización de los lodos generados durante el tratamiento del agua residual. En este proceso el material orgánico se somete a una degradación biológica que resulta en un producto final estable parecido al humus. Si cumplen con la legislación aplicable, los biosólidos resultantes se emplean como mejoradores del suelo (SEMARNAT, 2013).

Finalmente el agua a la salida del reactor biológico, se traslada a un sedimentador secundario, en donde los flóculos bacterianos generados en el reactor se sedimentan.

Tratamiento terciario

El tratamiento terciario se encarga de emplear procesos biológicos, físicos y químicos para remover algunos contaminantes específicos presentes en el agua residual que podrían dañar la flora acuática, como los fosfatos que provienen de los detergentes. Por lo que no todas las plantas coinciden en el proceso de desinfección del agua, ya que dependerá de la composición del agua residual y el destino que se le dará o cuerpo receptor.

Los procesos de desinfección más usuales son la desinfección con cloro, desinfección UV y la ozonación.

- **Cloración**

La cloración es un proceso muy usado en el tratamiento de aguas residuales industriales y negras. El proceso consiste en la adición de hipoclorito al agua a tratar. Cuando se usa cloro, este se combina con agua para formar ácido hipocloroso (HClO), siendo el desinfectante primario y ácido clorhídrico (HCl).

En aguas residuales, los desinfectantes primarios son las especies de monocloraaminas. Por lo tanto, la tendencia del HClO para disociarse a HCl debe evitarse manteniendo un pH menor de 7.5 (SEMARNAT, 2013).

La cloración usada en desinfección tiene el objetivo de prevenir la proliferación de enfermedades, el control de crecimientos de algas y producción de olores.

- **Desinfección UV**

La radiación ultravioleta (UV) es un bactericida y efectivo eliminador de virus, esporas y quistes, que a diferencia de otros métodos no forma subproductos tóxicos. Su máxima acción germicida se ubica en el rango de 220-320 nm. Dos de sus desventajas más importantes son el consumo de energía y la pérdida de efectividad ocasionado por los contaminantes disueltos que afectan la absorbancia y por lo tanto aminoran el efecto la radiación.

La radiación UV se produce cuando lámparas con mercurio son sometidas a un arco eléctrico y la energía generada por la excitación del vapor de mercurio resulta en la emisión de radiación. Si bien las coliformes dispersas son inactivadas fácilmente pues son expuestas directamente a la radiación UV, cuando estas se encuentran asociadas a partículas se forma un escudo que impide su destrucción, lo que en algunos casos resulta en un residual de bacterias a la salida del proceso (SEMARNAT, 2013).

▪ **Ozonación**

El ozono (O_3) es un agente efectivo para la desactivación de bacterias, esporas y microorganismos vegetativos en el agua residual. Además, puede actuar para oxidar químicamente materiales logrando reducir la DBO y DQO; el color y el olor del agua residual.

El ozono es inestable y se descompone a oxígeno elemental en un período de tiempo relativamente corto. Consecuentemente, no puede ser almacenado y debe ser producido en el sitio de aplicación usando aire u oxígeno como materia prima. La inyección del ozono al flujo de agua residual puede ser llevada a cabo mediante el uso de aparatos de mezcla mecánicos, columnas de flujo a corriente o contracorriente, difusores porosos o inyectores jet. Por su rápida acción requiere de períodos de contacto relativamente cortos (SEMARNAT, 2013).

III. Caso de estudio: Planta de Tratamiento de Aguas Negras (PTAN) del Valle de México

Para el presente estudio se consideró la PTAN Ubicada en Avenida 1º de Mayo, Municipio de Ecatepec, Estado de México, esta PTAN del Valle de México da tratamiento a las aguas negras provenientes tanto del Estado de México como de la Ciudad de México; para después enviarla a la Central Termoeléctrica del Valle de México perteneciente a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), cumpliendo con las condiciones de entrega establecidas por ésta última organización, de 4 ppm de sólidos totales en el agua como límite máximo, debido al uso reservado que se le dará al agua después del tratamiento. Cabe mencionar que con la concentración mencionada, de igual forma se cumplen con los límites máximos permisibles de las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-002-SEMARNAT-1996 si el destino final del agua tratada fuera uno de los cuerpos receptores establecidos por éstas.

La PTAN lleva a cabo el proceso de tratamiento del agua negra de acuerdo al funcionamiento en general de una PTAR descrito anteriormente. Para el caso estudio que se realizó se consideró el tratamiento primario englobando las etapas de pretratamiento y cárcamo de bombeo para realizar el ACV.

La planta tiene una capacidad de 600 L/s, el proceso de tratamiento comienza con la etapa de pretratamiento, empleando rejillas automáticas de diferentes tamaños de paso; las "gruesas" de 25 mm y las "finas" de 6 mm. El transportador de sólidos o tornillo sin fin, se encarga de trasvasar los sólidos desde las rejillas automáticas hacía un depósito de basura.

Posteriormente el agua libre de sólidos de mayor tamaño pasa al cárcamo de bombeo, donde se le dará la potencia necesaria para llegar a los sedimentadores primarios. Antes de ingresar a éstos, el agua pasa por un tanque de distribución de flujo, cuyo objetivo es romper la turbulencia del fluido, y distribuirlo en los sedimentadores primarios.

El tiempo de residencia en dichos sedimentadores es de media hora aproximadamente, para que posteriormente, mediante las rastras

automáticas, los sólidos sedimentados sean removidos antes de pasar al reactor biológico.

En el reactor biológico aerobio, se introduce oxígeno para alimentar a los organismos que degradarán la materia orgánica presente en el influente. Posteriormente el agua se ingresa a los sedimentadores secundarios, donde ocurre el mismo efecto que en los primarios y por último, los filtros de arena remueven el sobrante de sólidos presente. Durante el tratamiento el efluente al final debe contener una cantidad menor o igual a 4 ppm de sólidos.

Para éste caso, al ACV se llevará a cabo con base en los datos de operación proporcionados por la PTAN del Valle de México correspondientes al período de enero 2016 a octubre 2016. Se pretende identificar si los motores del pretratamiento, tratamiento primario y cárcamo de bombeo operan con la eficiencia establecidas en el diseño de la planta y de no ser así, calcular las pérdidas de energía, que se verán reflejadas como emisiones de gases de efecto invernadero al ambiente, en específico, de dióxido de carbono.

IV. Fase 1: Definición de objetivo y alcance

Objetivo

Aplicar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) a la Planta de Tratamiento de Aguas Negras (PTAN) del Valle de México, para determinar el impacto ambiental sobre las pérdidas energéticas en los equipos (motores y bombas) durante el tratamiento primario considerando las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera con la finalidad de dar una propuesta de mejora para disminuir dichas emisiones.

Alcance

La **función del sistema** estudiado en este caso, es dar tratamiento a un efluente de agua negra proveniente del Valle de México a partir de un proceso mecánico, biológico y químico; para después enviarla a la Central Termoeléctrica del Valle de México.

Del sistema en estudio, PTAN del Valle de México, se tomará como **unidad funcional**, las emisiones de CO₂ equivalente producidos por cada MWh que se pierda durante el tratamiento primario.

Se deja fuera del alcance de este análisis a las emisiones de CO₂ generadas por la oxidación de la materia orgánica biodegradable, DBO; contenida en el agua negra tratada en la PTAN.

Límites del sistema

- Límites geográficos: La planta de tratamiento de Aguas Negras del Valle de México analizada en este trabajo se encuentra en el Municipio de Ecatepec, Estado de México.

- Límites temporales: Los datos considerados para el estudio son los obtenidos por la PTAN del Valle de México, para el periodo de Enero a Octubre de 2016.

Las cargas ambientales causadas por las siguientes actividades quedan excluidas del análisis de impacto: tratamiento secundario y terciario de la PTAN, instalaciones de generación de energía eléctrica, residuos del

laboratorio de pruebas. En la Figura 4.1 se muestran las entradas y salidas del proceso a analizar en el tratamiento primario de la PTAN.

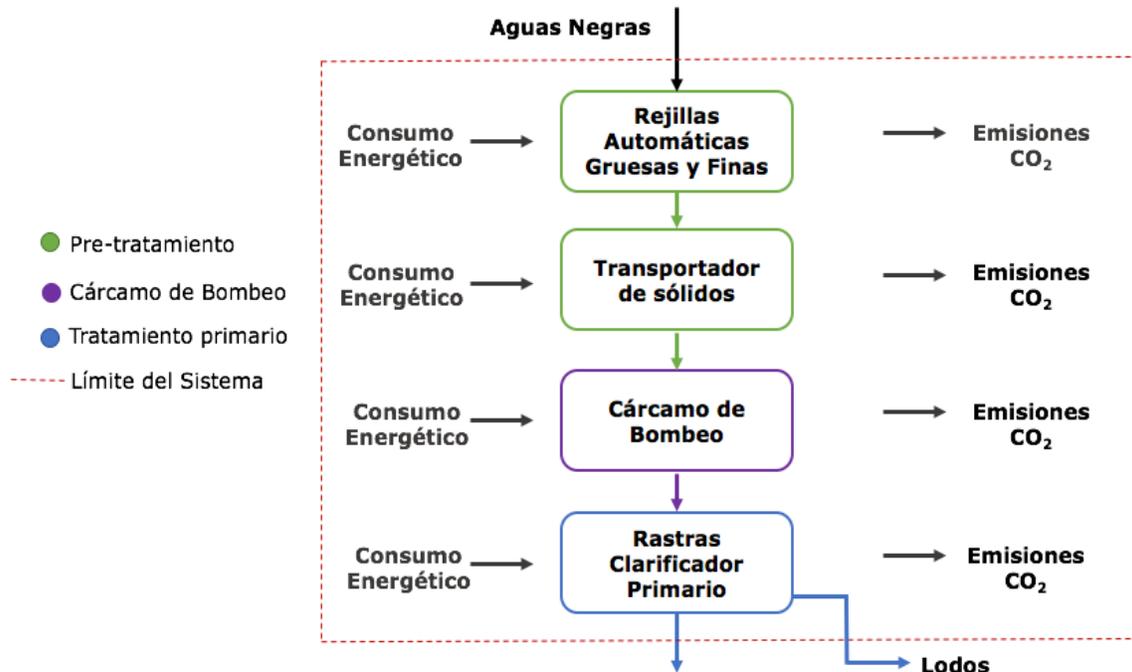


Fig. 4. 1 Límites del Sistema de Estudio en la PTAN del Valle de México

Información necesaria

La información necesaria para llevar a cabo el ACV, es:

- **Entradas:** Consumo energético de los motores responsables del funcionamiento de los equipos en el pretratamiento, cárcamo de bombeo y tratamiento primario.
- **Salidas:** Emisiones de CO₂ equivalente en cada una de las etapas.

Los escenarios a evaluar son:

- A. Calcular las emisiones indirectas de CO₂e por consumo de energía eléctrica, considerando que los motores y las bombas operan con las eficiencias mencionadas en sus hojas de datos.

- B. Calcular las emisiones indirectas de CO₂e por consumo de energía eléctrica, considerando las condiciones mínimas de operación de los equipos; es decir, la potencia mecánica mínima de los motores y la potencia hidráulica mínima de las bombas.

Si se deseará realizar la evaluación con las eficiencias reales de operación de los equipos, tendría que recurrirse a la metodología de una auditoría ambiental en la PTAN, con el objetivo de recolectar los datos necesarios para el cálculo.

Por lo tanto, en éste caso se hará una valoración de las emisiones de CO₂ de acuerdo a los datos de diseño y una estimación de las emisiones reales que tendría la PTAN en su tratamiento primario, si operará a las condiciones mínimas requeridas de los equipos.

Procedimiento de Cálculo

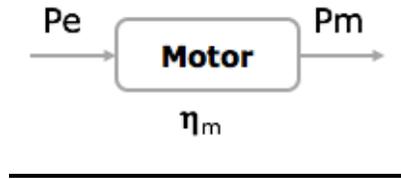
Los datos recopilados para hacer el ACV, no corresponden directamente a las entradas (consumo energético) y salidas (emisiones de CO₂) del sistema, por lo que es necesario realizar cálculos previos.

Los siguientes datos recopilados se presentan en los Anexos I y II siendo estos:

- Voltaje (V), corriente eléctrica (A), factores de potencia, eficiencias (%) y potencias (hp) de los motores.
- Flujos de operación (L/s).
- Carga total de bombeo (m), eficiencias (%) y potencias (hp) de las bombas.
- Factor de emisión de bióxido de carbono (t CO₂eq/MWh).

La secuencia de cálculo para conocer las entradas y salidas de los equipos para el **escenario A** es la siguiente:

- *Para los Motores*



1. Calcular la Potencia eléctrica mediante la ecuación 1

$$P_e = \frac{\sqrt{3} V I FP}{1000} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

P_e Potencia eléctrica de entrada al motor (KW)

V Tensión eléctrica, Voltaje (Volts)

I Corriente eléctrica (A)

FP Factor de Potencia

2. Calcular la Potencia mecánica, utilizando la ecuación 2

$$P_m = P_e \eta_m \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

P_m Potencia mecánica de salida del motor (KW)

P_e Potencia eléctrica de entrada al motor (KW)

η_m Eficiencia del motor

3. Calcular el consumo eléctrico y las pérdidas de energía del motor mediante la ecuación 3 y ecuación 4.

$$CE = P_e \left(\frac{24h}{1 \text{ día}} \right) (1 \text{ día}) \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

CE Consumo eléctrico del motor (KWh)

P_e Potencia eléctrica de entrada al motor (KW)

$$PE = (Pe - Pm) \left(\frac{24h}{1 \text{ día}} \right) (1 \text{ día}) \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

PE Pérdidas de Energía (KWh)

Pe Potencia eléctrica del motor (KW)

Pm Potencia mecánica del motor (KW)

4. Calcular la emisión indirecta de CO_2e por consumo de energía eléctrica del motor utilizando la ecuación 5

$$E_{(CO_2e)} = (PE)(FE_{elect}) \quad \text{Ec. 5}$$

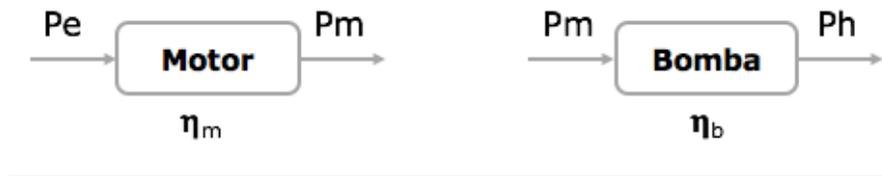
Donde:

$E_{(CO_2e)}$ Emisión de bióxido de carbono equivalente proveniente del consumo de energía eléctrica (tCO_2e)

PE Pérdidas de Energía (MWh)

FE_{elect} Factor de emisión por consumo de energía eléctrica (tCO_2e/MWh)

- Para el Par motor–bomba



1. Se realizan los mismos cálculos del paso 1 al 4 para el motor de la bomba y así obtener su emisión indirecta de CO_2e .
2. Calcular la potencia hidráulica de la bomba utilizando la ecuación 6.

$$Ph = Pm\eta_b \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

Ph Potencia hidráulica de la bomba (KW)

Pm Potencia mecánica del motor (KW)

η_b Eficiencia de la bomba

3. Calcular las pérdidas de energía de la bomba mediante la ecuación 7.

$$PE = (Pm - Ph) \left(\frac{24h}{1 \text{ día}} \right) (1 \text{ día}) \quad Ec.7$$

Donde:

PE Pérdidas de Energía (KWh)

Ph Potencia hidráulica de la bomba (KW)

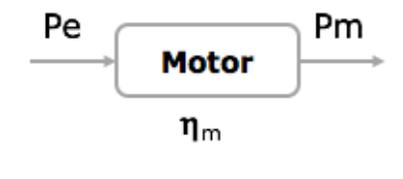
Pm Potencia mecánica del motor (KW)

4. Calcular la emisión de CO_{2e} de la bomba utilizando la ecuación 5.

$$E_{(CO_2e)} = (PE)(FE_{elect}) \quad Ec.5$$

La secuencia de cálculo para conocer las entradas y salidas de los equipos en el **escenario B** es la siguiente:

- Para los Motores

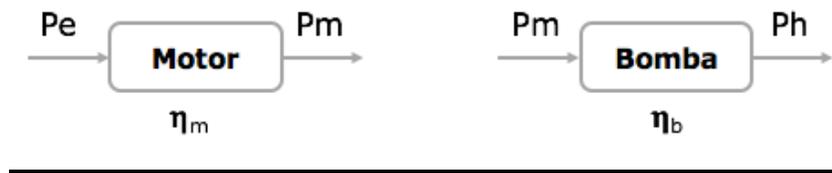


- 1) Calcular la Potencia eléctrica utilizando la ecuación 1.
- 2) Calcular la Eficiencia mecánica de un motor mediante la ecuación 2
- 3) Calcular el consumo eléctrico y las pérdidas de energía de un motor con la ecuación 3 y la ecuación 4.
- 4) Calcular la emisión de CO_{2e} del motor mediante la ecuación 5.

NOTA: El consumo de energía eléctrica es el mismo que el calculado en el escenario A, ya que depende de la potencia eléctrica del motor; y ésta es la misma en ambos escenarios.

Para las ecuaciones 2 y 4, considerar que la potencia mecánica es la mínima establecida en las hojas de datos de los motores.

- Para el Par motor – bomba



- 1) Se repiten los pasos del 1 al 4, para determinar las emisiones de CO₂e del motor de la bomba.
- 2) Calcular la potencia hidráulica de la bomba mediante la ecuación 8:

$$P_h = \frac{QHS.G.}{367} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

P_h Potencia hidráulica de salida de la bomba (KW)

Q Caudal (m³/s)

H Carga hidráulica de bombeo (m)

$S.G.$ Gravedad específica del agua=0.999

NOTA: El arreglo de las bombas, son dos en servicio y una de relevo, por lo que cuando el flujo es mayor de 400 l/s, se operarán dos bombas en paralelo, dividiendo el flujo entre dos para realizar el cálculo.

- 3) Calcular las pérdidas de energía de la bomba mediante la ecuación 7, tomando como potencia mecánica la mínima del motor.
- 4) Calcular la emisión de CO₂e de la bomba mediante la ecuación 5.
- 5) Calcular la eficiencia electromecánica real del par motor-bomba, utilizando la ecuación 9:

$$\eta_{em} = \frac{Ph}{Pe} \quad Ec.9$$

Donde:

η_{em} Eficiencia electromecánica del par motor-bomba

Ph Potencia hidráulica de salida de la bomba (KW)

Pe Potencia eléctrica de entrada al motor (KW)

6) Calcular la eficiencia de la bomba mediante la ecuación 10:

$$\eta_b = \frac{Ph}{Pm} \quad Ec.10$$

Donde:

Ph Potencia hidráulica real de la bomba (KW)

Pm Potencia mecánica mínima del motor (KW)

7) Calcular la eficiencia del motor utilizando la ecuación 11:

$$\eta_m = \frac{Pm}{Pe} \quad Ec.11$$

Donde:

Pm Potencia mecánica mínima del motor (KW)

Comentarios

La potencia mecánica mínima requerida por el par motor-bomba es de 112 KW, y en algunos casos (días) la potencia eléctrica de entrada al motor no fue suficiente para cubrir dicha demanda; por lo que esos datos no se tomaron en cuenta para el reporte de los resultados.

Para los cálculos de ambos escenarios se tomaron los datos obtenidos por la PTAN del Valle de México, y estos están reportados de acuerdo a los días en que se realizaba el mantenimiento de los equipos, por lo que no se tienen datos diarios de operación. Pero con lo ya mencionado, es posible obtener un promedio mensual tanto del consumo de energía eléctrica, como de las emisiones de CO₂.

V. Fase 2: Análisis de Inventario

Equipos en el Pretratamiento, Cárcamo de Bombeo y Tratamiento Primario

En la Tabla 5.1. Se muestra una lista de los equipos considerados para la etapa de pretratamiento así como su TAG de identificación. En las figuras 5.1 y 5.2 se muestran fotografías de estos equipos.

Tabla 5. 1 Equipos en la etapa de Pretratamiento de la PTAN Valle de México

Pretratamiento		
Rejillas automáticas		Transportador de Sólidos
Gruesas (25 mm)	RA-103-A	TS-105-A
	RA-103-B	
Finas (6 mm)	RA-104-A	TS-105-B
	RA-104-B	



Fig. 5. 1 Rejillas Automáticas, PTAN Valle de México



Fig. 5. 2 Transportador de Sólidos, PTAN Valle de México

En la Tabla 5.2. Se muestra una lista de los equipos considerados para la etapa del cárcamo de bombeo así como su TAG de identificación. En las figuras 5.3 y 5.4 se muestran fotografías de las bombas y sus motores.

Tabla 5. 2 Equipos en el Cárcamo de Bombeo de la PTAN Valle de México

Cárcamo de Bombeo	
Bombas de Agua Negra	BAN-152-A
	BAN-152-B
	BAN-152-C



Fig. 5. 3 Bomba Vertical de Agua Negra, PTAN Valle de México



Fig. 5. 4 Cárcamo de Bombeo, Aguas Negras, PTAN Valle de México

En la Tabla 5.3. Se muestra una lista de los equipos considerados para la etapa de tratamiento primario así como su TAG de identificación. En las figuras 5.5, 5.6 y 5.7 se muestran fotografías de la caja de distribución y de los clarificadores, respectivamente.

Tabla 5. 3 Equipos en la etapa de Tratamiento Primario de la PTAN Valle de México

Tratamiento Primario	
Rastras Clarificador Primario – Longitudinales	RCP-301-A
	RCP-301-B
Rastras Clarificador Secundario – Longitudinales	RCP-301-C
	RCP-301-D
Rastra Clarificador Primario - Transversal	RCP-302-A
Rastra Clarificador Secundario – Transversal	RCP-302-B



Fig. 5. 5 Caja de Distribución de Flujo, PTAN Valle de México



Fig. 5. 6 Clarificador Primario, PTAN Valle de México



Fig. 5. 7 Clarificadores Primarios, PTAN Valle de México

Diagrama de Flujo

Como ya se mencionó anteriormente, el proceso analizado corresponde al tratamiento primario; que a su vez engloba el pretratamiento y el cárcamo de bombeo.

La Figura 5.8 muestra el diagrama de flujo del proceso, permitiendo identificar los equipos involucrados y la secuencia de las etapas de tratamiento en la PTAN.

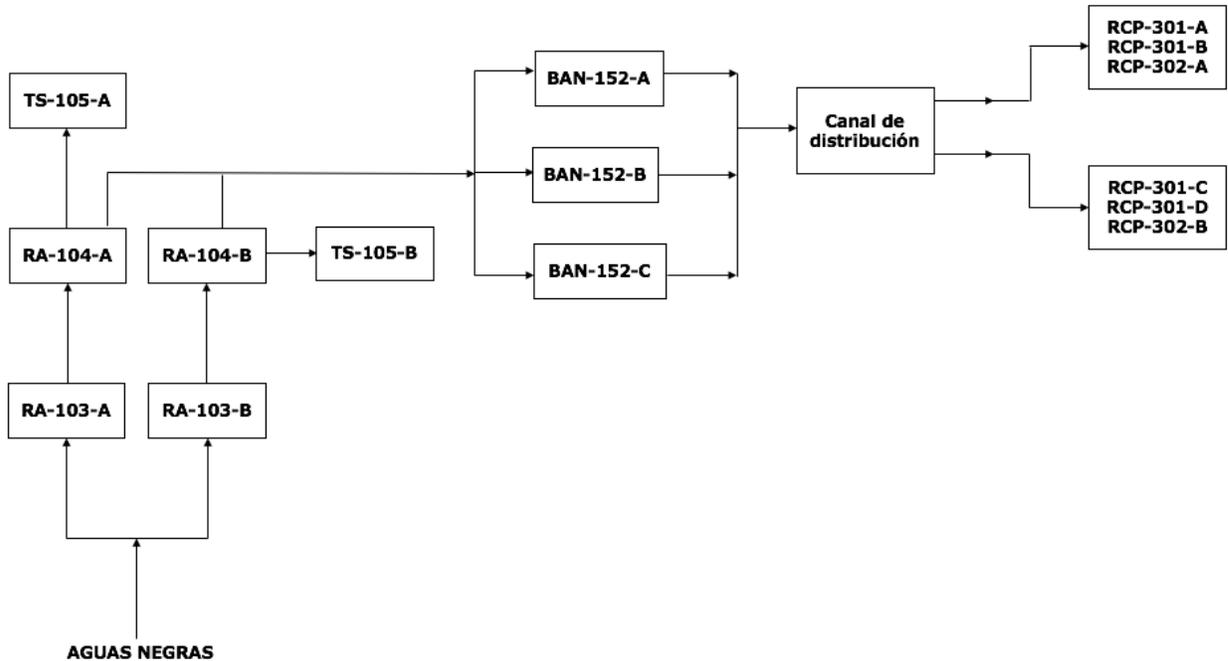


Fig. 5. 8 Diagrama de Flujo del Proceso de Pretratamiento y Tratamiento Primario, PTAN Valle de México

Selección de datos

Para realizar los cálculos correspondientes a las emisiones de CO₂ se necesitan conocer los datos de los Anexos I y II, además de identificar que existen dos tipos, los datos fijos y los variables.

Los datos fijos son las características técnicas de los equipos (motores y bombas); mientras que los datos variables se refieren a los flujos de operación y la corriente eléctrica con la que trabajan los motores de cada uno de los equipos.

VI. Fase 3: Evaluación del impacto

Categorías de impacto

Para la evaluación del impacto del ciclo de vida de las emisiones indirectas de CO₂e, se toman en cuenta las siguientes categorías:

- Consumo de energía

Siendo una de las categorías más importantes en este estudio, se define como la cantidad de energía utilizada en el pretratamiento, cárcamo de bombeo y tratamiento primario de la planta. Se toma en cuenta el uso y su destino final como los gases de efecto invernadero (GEI) que son liberados al ambiente; dejando fuera del límite de estudio, lo correspondiente a la materia prima y el proceso de producción de ésta. El consumo de energía se expresa en MWh de energía consumida.

- Calentamiento Global

El calentamiento global, es decir, el incremento de la temperatura global del planeta, es causado principalmente por la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos. Los GEI afectan a la atmósfera en distinto grado, y permanecen en ella por diferentes períodos. El Potencial de Calentamiento Global (PCG) indica la medida en la que un gas de efecto invernadero contribuye al calentamiento global.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) publica los PCG tomando como base el CO₂, por lo que el PCG de éste, siempre es 1. Por lo tanto, el factor de emisión emitido por CFE para las emisiones indirectas se expresa en las unidades de toneladas de dióxido de carbono **equivalente** por cada mega watt consumido por hora "t CO₂e/MWh", considerando ya el PCG de 1, del dióxido de carbono.

- Daños a la Salud

En materia de emisión de gases de efecto invernadero, no se ha desarrollado una norma o ley en el país que regule los límites máximos permisibles de CO₂ en el ambiente para no dañar la salud; ya que no es considerado como un contaminante criterio.

Sin embargo se realizó una estimación de la concentración de CO₂ en partes por millón (ppm) considerando el área de trabajo correspondiente a la etapa del tratamiento primario. También es importante recordar que es un área abierta, lo que ayuda a evitar la acumulación de dicho gas de efecto invernadero.

Para tener una referencia de los efectos en la salud del CO₂ de acuerdo a su concentración (ppm) de exposición; se tomarán los siguientes valores, emitidos por el Wisconsin Department of Health Services (Departamento de Servicios de Salud de Wisconsin, E.U.A.) que se muestran en la Tabla 6.1.

Tabla 6. 1 Consecuencias en la salud por diferentes niveles de CO₂

Nivel de CO₂ en el aire (ppm)	Consecuencias
250 – 350	Nivel normal de CO ₂ en exteriores
350 - 1000	Nivel típico en interiores con buen flujo de aire
1000 – 2000	Problemas de somnolencia y aire deficiente
2000 – 5000	Dolores de cabeza, somnolencia; el aire es estancado, rancio y congestionado. También puede estar presente el aumento del ritmo cardiaco, concentración deficiente y náuseas leves.
5000	Condiciones de aire inusual asociado a altos niveles de otros gases. Toxicidad o falta de oxígeno. Este es el límite de exposición permisible para las exposiciones diarias en el lugar de trabajo.
40000	Excesivamente dañino a la salud, por la falta de oxígeno.

Resumen de las categorías de impacto

En la Tabla 6.2 se muestra un resumen de las entradas y salidas que fueron consideradas para el ACV, junto con las categorías de impacto que le corresponden a cada una de ellas.

Tabla 6. 2 Resumen de las entradas y salidas, y sus categorías de impacto

	Unidades	Impacto Asociado
Entradas		Consumo energético Calentamiento Global Daños a la Salud
Consumo Energético	MWh	
Salidas		
Gas de efecto invernadero	t CO ₂ e	

Resultados

ENTRADAS: Consumo energético (MWh)

A continuación se muestran los resultados obtenidos para las entradas del proceso referidas al consumo eléctrico (MWh); los cuales son los mismos para los dos escenarios (A y B).

Para la parte del Pretratamiento los resultados para los equipos de consumo eléctrico, son los que se muestran en la Tabla 6.3.

Tabla 6. 3 Consumo de electricidad (MWh) en los equipos del Pretratamiento

Consumo eléctrico (MWh) Enero 2016 - Octubre 2016	
RA-103-A	1.96
RA-103-B	1.48
RA-104-A	2.97
RA-104-B	1.98
TS-105-A	3.75
TS-105-B	3.88
TOTAL	16.03

Los resultados obtenidos para el cárcamo de bombeo referidos al consumo eléctrico se enlistan en la Tabla 6.4.

Tabla 6. 4 Consumo de electricidad (MWh) en los equipos del Cárcamo de Bombeo

Consumo eléctrico (MWh) Enero 2016 - Octubre 2016	
BAN-152-A	235.55
BAN-152-B	221.83
BAN-152-C	156.31
TOTAL	613.70

Los consumos eléctricos obtenidos de los equipos considerados en el tratamiento primario son los mostrados en la Tabla 6.5.

Tabla 6. 5 Consumo de electricidad (MWh) en los equipos del Tratamiento Primario

Consumo eléctrico (MWh) Enero 2016 - Octubre 2016	
RCP-301-A	1.85
RCP-301-B	1.95
RCP-301-C	1.82
RCP-301-D	2.05
RCP-302-A	1.63
RCP-302-B	2.26
TOTAL	11.55

La Tabla 6.6 muestra los resultados del consumo eléctrico obtenidos de forma mensual para las tres etapas (pretratamiento, cárcamo de bombeo y tratamiento primario) del tratamiento considerados en el estudio.

Tabla 6. 6 Consumo de electricidad (MWh) mensual para el período de enero – octubre del 2016

Mes	Pretratamiento	Cárcamo de Bombeo	Tratamiento Primario
Enero	1.42	64.5	1.21
Febrero	1.75	70.1	1.29
Marzo	1.02	29.4	0.83
Abril	1.34	43.8	1.17
Mayo	1.50	64.9	1.21
Junio	1.93	73.0	1.39
Julio	2.01	70.9	1.31
Agosto	1.20	43.3	0.78
Septiembre	2.53	98.6	1.64
Octubre	1.31	55.1	0.72
Total-Mes	16.03	613.70	11.55
TOTAL Consumo eléctrico (MWh)		641.28	

La Figura 6.1 representa los gráficos que resumen los resultados obtenidos sobre el consumo energético en el pretratamiento y tratamiento primario.

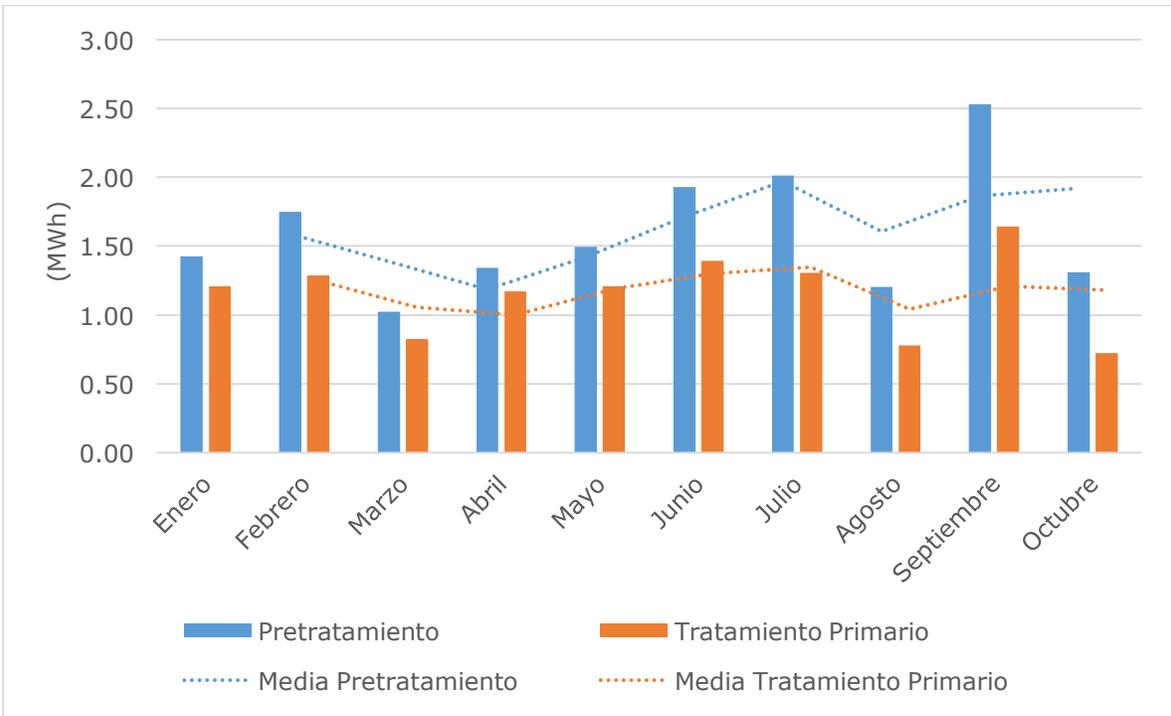


Fig. 6. 1 Gráfica de Consumo energético (MWh) en el Pretratamiento y Tratamiento Primario durante enero - octubre del 2016.

En la Figura 6.2 se muestra la tendencia del consumo eléctrico para la parte de los equipos considerados en el cárcamo de bombeo.

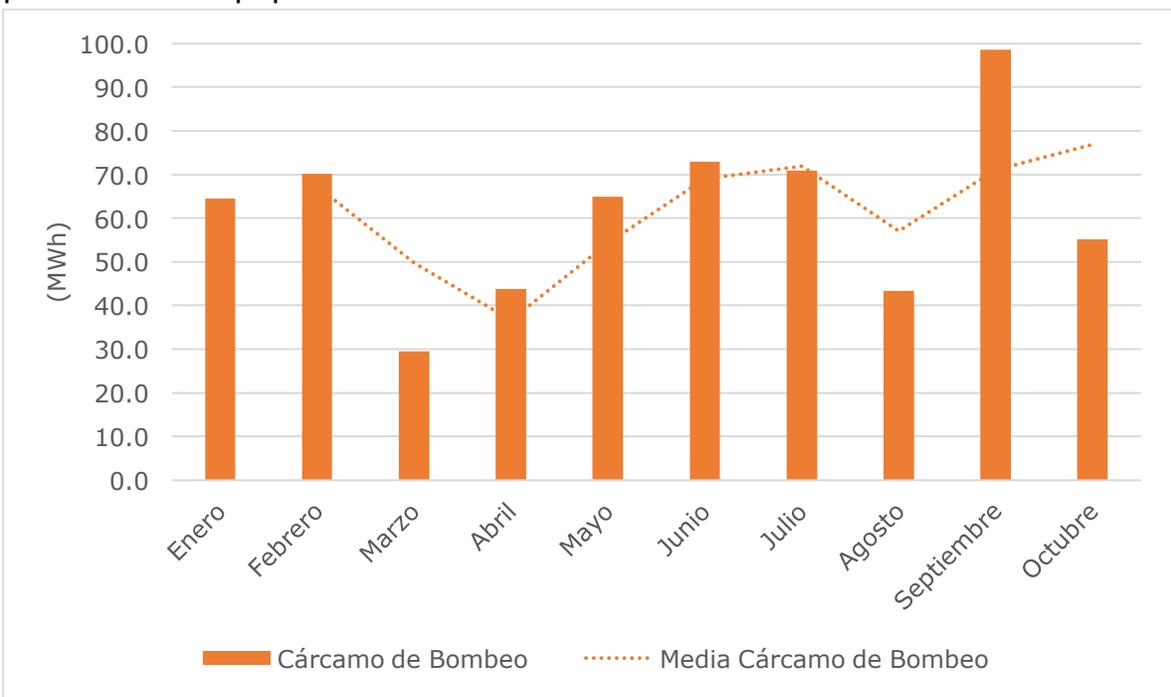


Fig. 6. 2 Gráfica de Consumo energético (MWh) en el Cárcamo de Bombeo durante enero - octubre del 2016.

SALIDAS: Emisiones de CO₂e (t CO₂e)

A continuación se muestran los resultados obtenidos para las salidas del proceso, es decir, las emisiones de CO₂e (ton CO₂e) para los escenarios analizados, A y B.

Escenario A

En la Tabla 6.7. se muestran los valores de las emisiones de CO₂e obtenidas de los equipos considerados en el pretratamiento.

Tabla 6. 7 Emisiones de CO₂e (t CO₂e) para el Pretratamiento, escenario A

Emisiones de CO₂ (t CO₂e) Enero 2016 - Octubre 2016	
RA-103-A	0.12
RA-103-B	0.09
RA-104-A	0.18
RA-104-B	0.12
TS-105-A	0.24
TS-105-B	0.25
TOTAL	0.98

En las Tablas 6.8. y 6.9. se presentan las emisiones de CO₂e calculados para los motores y bombas considerados en el cárcamo de bombeo.

Tabla 6. 8 Emisiones de CO₂e (t CO₂e) de los equipos eléctricos del Cárcamo de Bombeo, escenario A.

Emisiones de CO₂ (t CO₂e) Enero 2016 - Octubre 2016	
MOTOR	
BAN-152-A	5.93
BAN-152-B	5.59
BAN-152-C	3.94
TOTAL	15.46

Tabla 6. 9 Emisiones de CO₂e (t CO₂e) de las bombas del Cárcamo de Bombeo, escenario A

Emisiones de CO₂ (t CO₂e) en el período Enero 2016 - Octubre 2016	
BOMBA	
BAN-152-A	19.95
BAN-152-B	18.79
BAN-152-C	13.24
TOTAL	51.98

Los resultados obtenidos para la emisiones de CO₂e (t CO₂e) para la etapa del Tratamiento Primario se muestran en la Tabla 6.10 para el periodo establecido.

Tabla 6. 10 Emisiones de CO₂e (t CO₂e) de los equipos del Tratamiento Primario, escenario A

Emisiones de CO₂ (t CO₂e) Enero 2016 - Octubre 2016	
RCP-301-A	0.11
RCP-301-B	0.12
RCP-301-C	0.11
RCP-301-D	0.12
RCP-302-A	0.10
RCP-302-B	0.12
TOTAL	0.68

Un resumen de los datos obtenidos para el escenario A sobre las emisiones de CO₂ para los equipos eléctricos y periodos considerados en cada una de las etapas, se muestran en la Tabla 6.11.

Tabla 6. 11 Emisiones de CO₂ (t CO₂eq) del Pretratamiento, Cárcamo de Bombeo y Tratamiento Primario durante el período de enero – octubre del 2016, escenario A

Mes	Pretratamiento	Cárcamo de Bombeo		Tratamiento Primario
		Motor	Bomba	
Enero	0.09	1.62	5.46	0.07
Febrero	0.11	1.77	5.94	0.08
Marzo	0.06	0.74	2.49	0.05
Abril	0.08	1.10	3.71	0.07
Mayo	0.09	1.63	5.50	0.08
Junio	0.12	1.84	6.18	0.08
Julio	0.12	1.79	6.01	0.08
Agosto	0.08	1.09	3.67	0.04
Septiembre	0.15	2.48	8.36	0.09
Octubre	0.08	1.39	4.67	0.04
Total-Mes	0.98	15.46	51.98	0.68
TOTAL Emisiones (t CO₂e)		69.10		

Escenario B

En la Tabla 6.12. se muestran las emisiones de CO₂e de los equipos eléctricos del pretratamiento.

Tabla 6. 12 Emisiones de CO₂e (t CO₂e) de los equipos del Pretratamiento, escenario B

Emisiones de CO₂ (t CO₂e) en el período Enero 2016 - Octubre 2016	
RA-103-A	0.46
RA-103-B	0.36
RA-104-A	0.89
RA-104-B	0.56
TS-105-A	0.42
TS-105-B	0.44
TOTAL	3.13

Tabla 6.13. y Tabla 6.14. Se muestran las emisiones de CO₂e de los motores y bombas del cárcamo de bombeo, respectivamente.

Cárcamo de bombeo

Tabla 6. 13 Emisiones de CO₂e (t CO₂e) de los motores del Cárcamo de Bombeo, escenario B

Emisiones de CO₂ (t CO₂e) en el período Enero 2016 - Octubre 2016	
MOTOR	
BAN-152-A	5.49
BAN-152-B	3.48
BAN-152-C	7.20
TOTAL	16.17

Tabla 6. 14 Emisiones de CO₂e (t CO₂e) de las bombas del Cárcamo de Bombeo, escenario B

Emisiones de CO₂ (t CO₂e) en el período Enero 2016 - Octubre 2016	
BOMBA	
BAN-152-A	22.91
BAN-152-B	22.75
BAN-152-C	0.00
TOTAL	45.66

Tabla 6.15. Se muestran las emisiones de CO₂e de los equipos eléctricos del tratamiento primario.

Tratamiento Primario

Tabla 6. 15 Emisiones de CO₂e (t CO₂e) de los equipos del Tratamiento Primario, escenario B

Emisiones de CO₂ (t CO₂e) en el período Enero 2016 - Octubre 2016	
RCP-301-A	0.15
RCP-301-B	0.14
RCP-301-C	0.12
RCP-301-D	0.19
RCP-302-A	0.06
RCP-302-B	0.28
TOTAL	0.93

Tabla 6.16. Se muestran las emisiones de CO₂e por mes en el pretratamiento, cárcamo de bombeo y tratamiento primario.

Tabla 6. 16 Emisiones de CO₂ (t CO₂e) del Pretratamiento, Cárcamo de Bombeo y Tratamiento Primario durante el período de enero – octubre del 2016, escenario B

Mes	Pretratamiento	Cárcamo de Bombeo		Tratamiento Primario
		Motor	Bomba	
Enero	0.21	0.95	5.39	0.07
Febrero	0.40	1.07	4.37	0.09
Marzo	0.18	0.00	0.00	0.07
Abril	0.25	0.00	0.00	0.09
Mayo	0.27	1.11	2.08	0.07
Junio	0.40	2.13	7.01	0.18
Julio	0.42	2.51	9.78	0.12
Agosto	0.24	1.57	4.54	0.06
Septiembre	0.51	3.73	6.96	0.12
Octubre	0.26	3.10	5.52	0.05
Total-Mes	3.13	16.17	45.66	0.93
TOTAL Emisiones (tCO₂e)		65.89		

Las emisiones de CO₂ es posible expresarlas en ppm en relación al área de trabajo, y de acuerdo a la estimación realizada, la concentración de dióxido de carbono en el área de las etapas de tratamiento estudiadas, es de 360 ppm a 390 ppm, tanto en el escenario A y B.

Por lo que se puede considerar despreciable la cantidad de CO₂ en el ambiente para causar un daño a la salud.

Las Figuras 6.3, 6.4, 6.5 y 6.6 que se muestran a continuación representan los gráficos que resumen los resultados de las emisiones de CO₂e en ton CO₂e en los escenarios A y B, del pretratamiento, motores del cárcamo de bombeo, bombas del cárcamo de bombeo y tratamiento primario, respectivamente.

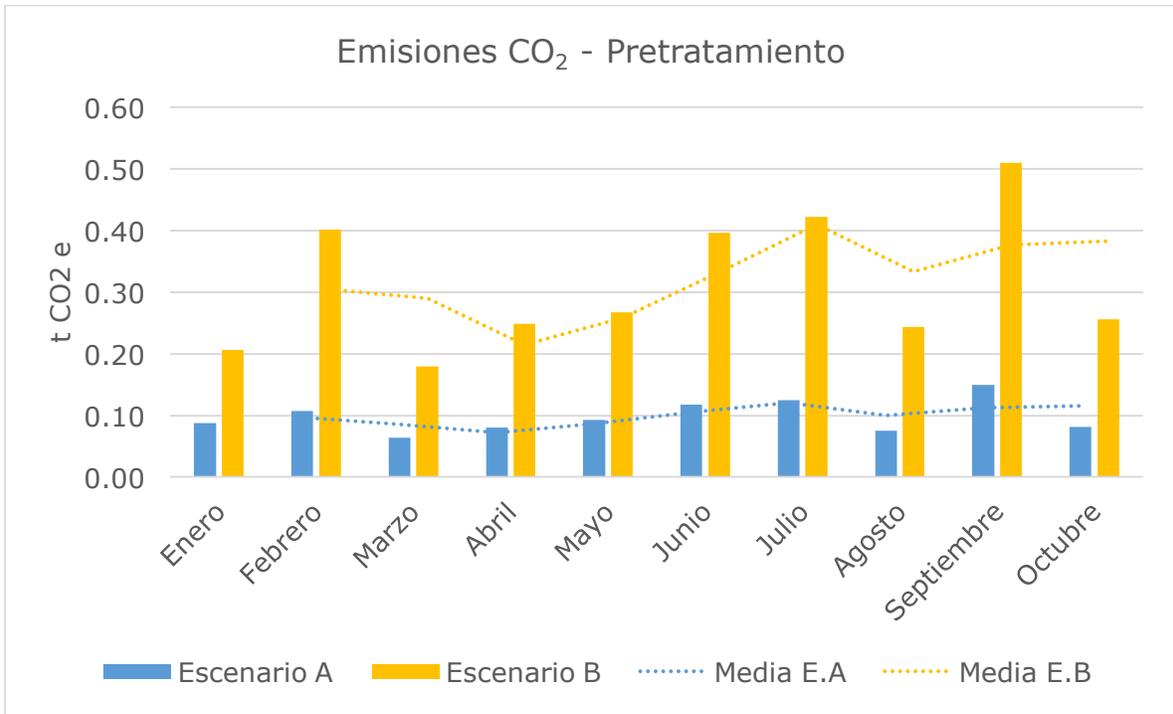


Fig. 6. 3 Gráfica de las emisiones de CO₂ (t CO₂e) del Pretratamiento en el escenario A y B

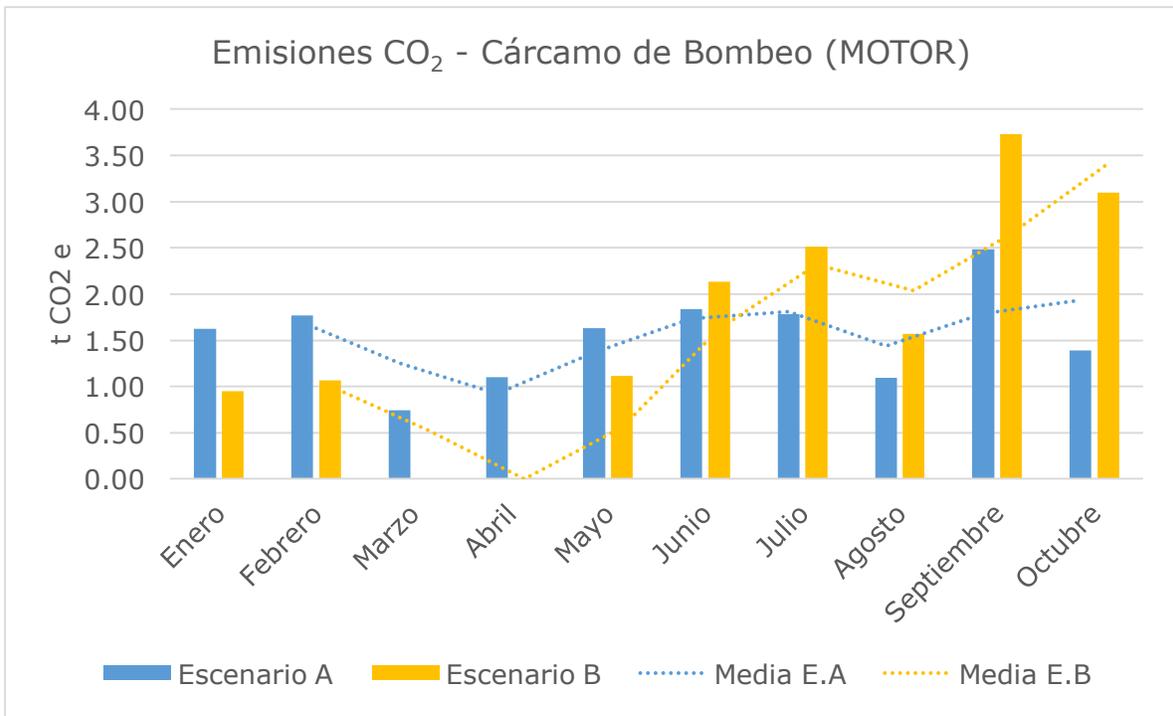


Fig. 6. 4 Gráfica de las emisiones de CO₂ (t CO₂e) de los motores del Cárcamo de Bombeo en el escenario A y B

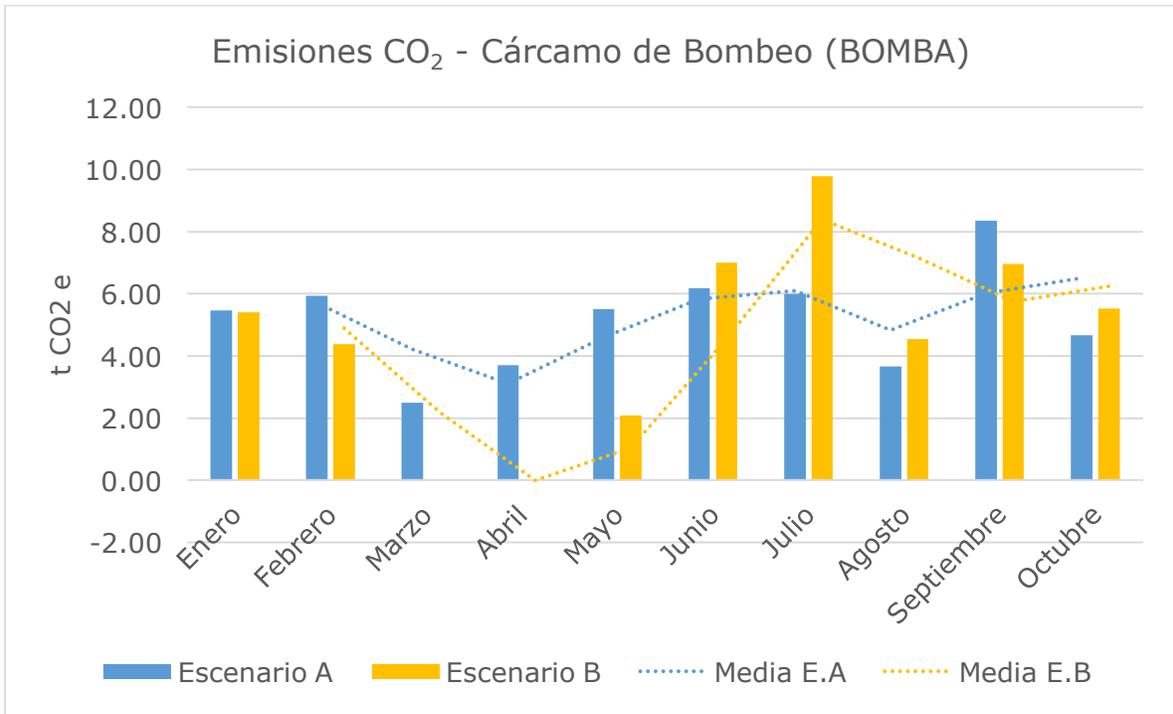


Fig. 6. 5 Gráfica de las emisiones de CO₂ (t CO₂e) de las bombas del Cárcamo de Bombeo en el escenario A y B

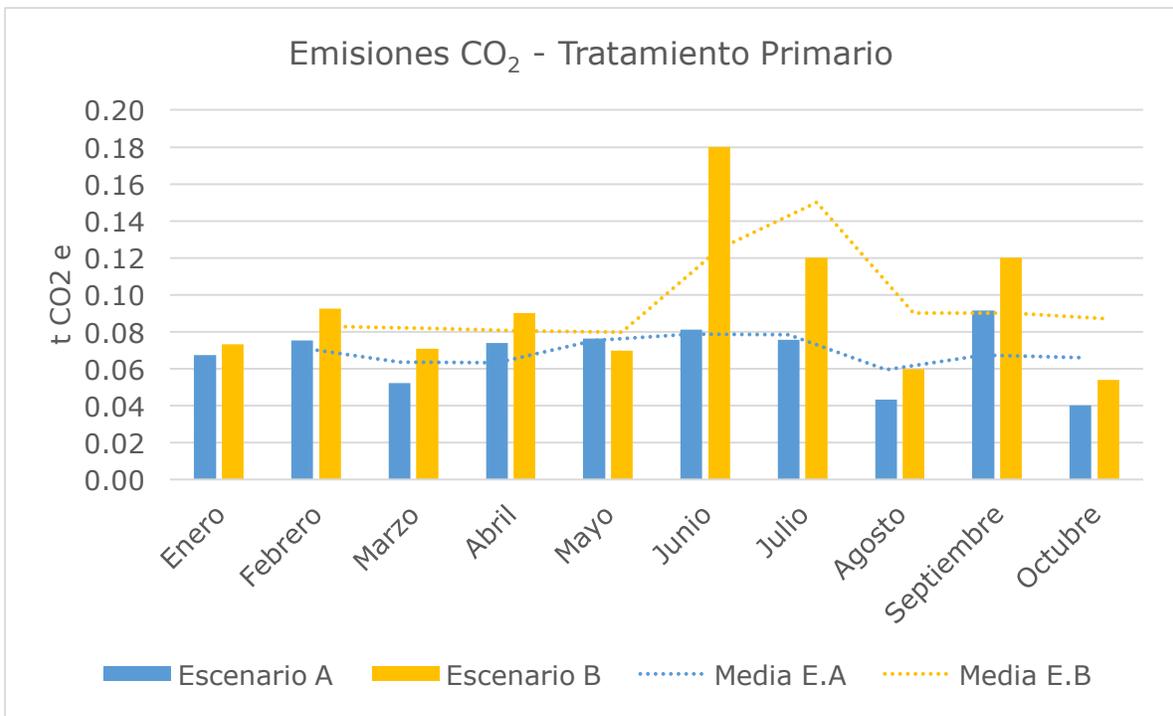


Fig. 6. 6 Gráfica de las emisiones de CO₂ (t CO₂e) del Tratamiento Primario en el escenario A y B

VII. Fase 4: Interpretación de resultados

El consumo energético en el cárcamo de bombeo, sobrepasa en un orden de treinta a cincuenta veces el consumo de energía eléctrica en los motores del pretratamiento y tratamiento primario. Debido a la gran capacidad de las bombas, el motor requiere consumir mayor cantidad de energía eléctrica para transformarla en la potencia mecánica necesaria y transportar el agua de una etapa a otra.

Los equipos que más consumo de energía eléctrica tuvieron fueron los motores del cárcamo de bombeo, seguidos por los motores de las rejillas automáticas y los transportadores de sólidos; las rastras de los clarificadores primarios no requirieron tanto consumo eléctrico como en las dos etapas anteriores.

Los resultados de la evaluación del impacto muestran que en general los equipos operando de acuerdo a su diseño tienen menos emisiones de CO₂e que si operaran a condiciones mínimas; en cada una de las etapas analizadas.

Cuando los motores trabajan a condiciones mínimas de salida, es decir, con la potencia mecánica mínima de salida, requerirían de un consumo de energía eléctrica menor, lo que ocasionaría desperdiciar la capacidad de transformación de energía de estos.

En el pretratamiento, operar los motores en el escenario B generan el doble de emisiones de CO₂e respecto al escenario A. Los motores de las rastras en el tratamiento primario, tanto en el escenario A y B generan toneladas de CO₂e similares en la mayoría de los meses analizados.

En los escenarios A y B se tomaron los datos reales de operación de la planta para hacer el cálculo de la potencia eléctrica de los motores; por lo que se puede concluir que operar los motores en las condiciones del escenario B, genera mayor emisión de CO₂, porque se desperdicia la energía eléctrica ya consumida a la entrada del motor.

En el cárcamo de bombeo, durante los primeros cinco meses analizados no se puede observar la diferencia entre los dos escenarios analizados,

ya que en algunos casos los motores operaron fuera de las condiciones de diseño y de las mínimas; es decir, requirieron una menor potencia eléctrica para su funcionamiento generando por lo tanto una potencia mecánica de salida menor a la mínima establecida. Esto debido a la división del flujo de agua a transportar por las bombas.

En el cárcamo de bombeo se emitieron más toneladas de CO₂ mediante la bomba BAN-152-A, ya que es la que siempre se encontraba en operación. La bomba BAN-152-C al ser la de relevo, no generaba emisiones ya que no se operó durante los meses analizados.

Como ya se mencionó, las emisiones de CO₂ a la atmósfera tanto en el escenario A como en el B son de aproximadamente 0.038%, por lo que se encuentran dentro de los niveles típicos de CO₂ en el aire; sin causar daños a la salud en el área de trabajo.

No obstante, no debe olvidarse que solo se está analizando una parte del tratamiento de la planta, por lo que éstos valores pueden incrementarse y sobrepasar los niveles normales para la salud.

Áreas de mejora

Actualmente la planta cuenta con un procedimiento e itinerario de mantenimiento a los equipos estudiados en este estudio, por lo que es recomendable seguir realizándolo, a fin de evitar daños en los motores o bombas.

En la PTAN del Valle de México se hace un monitoreo continuo de las características del agua tratada, como la medición de DBO y DQO, entre otros, para cumplir con los requerimientos mínimos de entrega; pero no se lleva un registro de las emisiones de GEI, que no solo contribuyen al calentamiento global, sino también a la salud humana.

Así que, además de llevar un registro de las condiciones de operación mencionadas, es importante implementar una gestión que permita conocer las emisiones reales de GEI causadas por todas las etapas del tratamiento de agua negra. Por lo tanto aparte de determinar las emisiones indirectas de CO₂ por las pérdidas energéticas en los equipos eléctricos, es importante tener en cuenta las posibles emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) generadas por la degradación de la materia orgánica ante un mal funcionamiento del proceso de tratamiento, a pesar de que se realice una degradación aerobia.

Realizar una auditoría energética es necesaria para detectar los datos de entrada y salidas de cada equipo utilizado, ayudando a obtener el dato de las emisiones reales de la PTAN. Seguir el proceso del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento número 41 es una buena base para desarrollar o adoptar el proceso de auditoría energética a la PTAN.

Los motores del cárcamo de bombeo, consumen energía eléctrica de acuerdo a la cantidad de flujo (agua negra) que se esté transportando por las bombas, así que de ser muy pequeño este flujo, los motores requieren menor potencia eléctrica y por lo tanto brindarán menor potencia mecánica. Por consiguiente una planeación en la distribución de flujo es recomendable para mantener a los equipos operando en las condiciones de diseño y así disminuir las emisiones de una de las etapas que más contaminan.

Conclusiones

El consumo de energía eléctrica es una de las principales causas de contaminación no solo en México sino en el mundo, contribuyendo especialmente al calentamiento global, debido a la quema de combustibles fósiles; con el objetivo de satisfacer la alta demanda de energía. Las emisiones indirectas también son una fuente importante de contaminación, por lo que es necesario contar con una buena gestión de regulación de estas, principalmente en la industria.

Los resultados del ACV respecto al consumo eléctrico en el tratamiento primario de la PTAN del Valle de México, muestran que las emisiones de CO₂e son el resultado de las pérdidas energéticas durante la transformación de energía, ya sea en los motores o en las bombas, resaltando la contaminación causada en el cárcamo de bombeo, etapa en la que los motores de las bombas consumen más energía eléctrica, y a su vez, liberan más de éste GEI al ambiente.

Cuando se realiza el diseño de un equipo, se espera que este trabaje con la mayor eficiencia posible en el proceso que se empleara. Al comparar las emisiones de los escenarios A y B, es importante resaltar que sin el mantenimiento y gestión adecuados, los equipos pueden operar fuera de las condiciones de diseño, causando un impacto ambiental mayor; como es el caso de los motores del cárcamo de bombeo que en algunos casos debido a la cantidad de flujo transportado, no consumen la energía eléctrica necesaria para generar la potencia mecánica mínima (de diseño) requerida por las bombas, forzando así a trabajar fuera de la eficiencia ideal al par motor-bomba.

Se dejaron fuera del estudio algunas categorías de impacto, debido al objetivo de estudio del ACV, pero es necesario implementar procesos de gestión en la PTAN, relacionados al impacto ambiental generado. Empezar por identificar las emisiones por consumo eléctrico es un buen inicio para desarrollar planes de mejora en la planta.

El ACV permite hacer un análisis ambiental completo de un proceso o un producto, es decir, facilita la vigilancia y evaluación de las oportunidades y amenazas ambientales relacionadas a cada una de las etapas del ciclo

de vida; permitiendo la obtención de recomendaciones de mejora, ya que establece una clara relación entre las entradas y salidas del proceso analizado, así como los efectos que éstas tendrán en diferentes categorías de impacto. Es recomendable que el ACV se realice en la etapa de diseño del proceso o del producto, para determinar las estrategias necesarias que aseguren las condiciones adecuadas y sustentables durante el período de vida del proyecto.

La fase de análisis de inventario es crítica para todo el análisis, en especial para determinar las categorías de impacto a analizar.

Además es una técnica de gestión ambiental que cuenta con la facilidad de poder adaptar sus fases a la profundidad con la que se requiera hacer el análisis. Dichas fases del ACV, también permiten una retroalimentación durante el desarrollo del estudio, permitiendo corregir, enriquecer o re direccionar tanto el objetivo como el alcance establecidos.

Anexo I

Datos Variables

Flujos de Operación

La Tabla I.1 muestra los flujos diarios de la PTAN durante el período de enero - octubre del 2016.

Tabla I. 1 Flujos diarios (l/s) de la PTAN durante enero – octubre del 2016

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
1	454	448	495	398	444	632	593	638	519	642
2	518	480	501	398	457	638	602	639	433	638
3	481	530	380	382	451	630	598	633	397	637
4	451	551	304	400	455	530	598	626	565	636
5	452	545	291	390	523	624	392	586	640	616
6	404	550	299	400	550	637	461	599	636	642
7	372	547	303	398	549	626	638	598	635	643
8	360	551	288	384	547	651	640	600	639	644
9	376	548	345	399	592	620	633	600	637	641
10	430	544	282	401	507	620	636	540	636	651
11	446	553	298	400	566	547	641	648	642	656
12	480	550	302	399	592	504	634	638	639	644
13	498	550	299	398	599	497	638	648	632	638
14	497	548	298	120	593	496	632	645	639	639
15	509	549	300	301	600	515	639	627	643	639
16	549	549	416	301	542	547	598	627	637	639
17	581	591	277	297	455	612	639	621	640	647
18	600	502	72	300	362	500	633	632	640	644
19	622	454	179	297	339	520	646	643	635	639
20	632	567	302	284	418	597	653	622	643	640
21	625	624	294	296	452	595	646	636	633	641
22	628	630	299	299	513	596	646	640	643	642
23	607	641	300	300	572	597	639	633	645	644
24	623	637	299	302	635	600	639	641	641	641
25	618	637	299	277	640	595	640	637	637	642
26	579	630	303	340	620	595	631	639	640	646
27	607	630	298	421	641	462	643	644	639	641

28	605	529	298	454	627	468	638	179	661	643
29	539		299	452	641	597	633	619	657	640
30	430		321	448	644	603	644	535	638	627
31	428		399		640		628	638		636

Corriente eléctrica de los motores

Tabla I.2 a Tabla I.16 muestran los datos de la corriente eléctrica de los motores correspondientes a los equipos del pretratamiento, cárcamo de bombeo y tratamiento primario.

Pretratamiento

RA-103-A

Tabla I. 2 Corriente eléctrica (A) del motor de la rejilla RA-103-A durante enero – octubre del 2016

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
1				1.2			1.2	1.2		
2		1.3	1.3						1.2	
3		1.1				1.2				1.3
4	1.1		1.2	1.2	1.1		1.3			
5		1							1.3	1.2
6	1			1.3	1.1	1.2	1.3			
7									1.2	1.3
8		1.3		1.4		1.2	1.2	1.2		
9	1.1								1.2	
10		1				1.2		1.2		1.2
11	1.1			1.2			1.2			
12		1.2							1.3	1.1
13	1.1			1.3		1.3	1.3			
14			1.3						1.2	1.2
15		0.9		1.2		1.3	1.2			
16	1		1.3							
17		1								1.2
18	1.1			1.3		1.2	1.2			
19		1.2						1.3	1.2	1.2
20	1						1.2		1.2	
21				1.2		1.2			1.1	1.2
22	1.1	1.1	1.2				1.2	1.2	1.1	
23				1.2	1.2	1.2			0.6	
24		1.2						1.2	1.2	
25	1.1			1.3	1.1	1.2	1.2		1.2	
26		1.2						1.2	1.2	
27	1			1.3	0.1		1.2		1.2	
28			1.2			1.3			1.3	
29	1.1	1.3					1.2	1.2	1.2	
30			1.2		1.2	1.2				

RA-103-B

No se tuvo registró de la corriente eléctrica del motor, en los meses de Febrero, Marzo y Abril.

Tabla I. 3 Corriente eléctrica (A) del motor de la rejilla RA-103-B durante enero - octubre del 2016

	Enero	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
1			1.1	1.3	1.2		
2						1.3	
3			1.3				1.2
4	1			1.3			
5						1.4	1.2
6	1.1			1.4			
7						1.4	1.3
8			1.3	1.2	1.3		
9	1.1	1.2				1.4	
10			1.3		1.3		1.3
11	1	1.1		1.3			
12						1.3	1.2
13	1.2	1.3	1.3	1.3			
14						1.3	1.3
15			1.3	1.3			
16	1	1.3					
17			1.2				1.2
18	1.1	1.2		1.3			
19					1.4	1.3	1.3
20	1.1	1.2	1.3	1.2		1.2	
21						1.2	1.3
22	1		1.3	1.3	1.3	1.2	
23		1.2				1.2	
24			1.3		1.3	1.3	
25		1.2		1.3		1.4	
26					1.2	1.1	
27		1.1	1.3	1.3		1.3	
28						1.2	
29			1.2	1.3	1.2	1.2	
30		1.2					

RA-104-A

Tabla I. 4 Corriente eléctrica (A) del motor de la rejilla RA-104-A durante enero - octubre del 2016

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
1				1.5		1.5	1.6	1.5		
2		1.1	1.6		1.3				1.5	
3		1.1				1.5				1.5
4	1.3		1.2	1.5	1.3		1.5			
5		1							1.6	1.5
6	1.2			1.5	1.4	1.5	1.7			
7									1.6	1.5
8		1.2		1.6		1.5	1.5	1.5		
9	1.2		1.3						1.5	
10		1.2				1.5		1.6		1.5
11	1.3		1.3	1.5			1.6			
12		1.4							1.5	1.5
13	1.2			1.6		1.4	1.5			
14			1.3						1.5	1.3
15		1.4		1.5		1.6	1.5			
16	1.3		1.7							
17		1.5				1.5				1.6
18	1.2			1.6			1.5			
19		1.2						1.5	1.5	1.5
20	1.2					1.4	1.5		1.6	
21				1.6					1.5	1.4
22	1.2	1.5	1.6			1.5	1.5	1.6	1.5	
23				1.6	1.6				0.8	
24		32.4				1.5		1.6	1.5	
25	0.47			1.7	1.4		1.5		1.2	
26		1.5						1.4	1.5	
27	1.2			1.6	1.3	1.6	1.5		1.5	
28			1.6						1.4	
29	1.2	1.4		1.3		1.6	1.5	1.2	1.5	
30			1.6		1.4					

RA-104-B

No se tuvo registro de la corriente eléctrica del motor, en el mes de Julio.

Tabla I. 5 Corriente eléctrica (A) del motor de la rejilla RA-104-B durante enero - octubre del 2016

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Septiembre	Octubre
1					1.7	1.7	1.2		
2		1						1.7	
3		1.2			1.7				1.6
4	1.3					1.7			
5								1.8	1.4
6	1.2				1.7	1.8			
7			1.4					1.7	1.2
8					1.7	1.6	1.7		
9	1.3			1.4				1.7	
10					1.7		1.7		1.4
11	1.3			1.5		1.6			
12								1.7	1.5
13	1.2			1.7	1.6	1.7			
14								1.7	1.5
15					1.6	1.6			
16	1.2			1.7					
17					1.6				1.5
18	1.3			1.7		1.7			
19							1.7	1.8	1.6
20	1.2			1.6	1.5	1.7		1.5	
21								1.6	1.5
22	1.3					1.7	1.7	1.6	
23				1.6				1.5	
24					1.7		1.7	1.7	
25	1.1			1.6		1.7		1.6	
26							1.4	1.5	
27	1.3			1.4	1.7	1.7		1.6	
28								1.3	
29	1.3				1.5	1.7	1.5	1.6	
30				1.5					

TS-105-A*Tabla I. 6 Corriente eléctrica (A) del motor del transportador de sólidos TS-105-A durante enero – octubre del 2016*

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
1				1.8		1.7	1.8	1.8		
2		1.4	1.8		1.7				1.8	
3		1.3				1.7				1.7
4	1.6		1.8	1.8	1.7		1.8			
5		1.5							1.8	1.7
6	1.4			1.8	1.6	1.8	1.8			
7									1.8	1.8
8		1.8		1.8		1.7	1.7	1.7		
9	1.4				1.7				1.8	
10		1.4				1.8		1.7		1.7
11	1.6		1.7	1.8	1.7		1.8			
12		1.7							1.8	1.8
13	1.5			1.9	1.7	1.8	1.7			
14			1.8						1.8	1.6
15		1.4		1.8		1.8	1.8			
16	1.5		1.9		1.8					
17		1.7				1.8				1.8
18	1.5		1.8	1.8	1.7		1.7			
19		1.7						1.8	1.8	1.7
20	1.6				1.7	1.8	1.8		1.7	
21				1.8					1.8	1.7
22	1.4	1.7	1.9			1.8	1.8	1.8	1.7	
23				1.8	1.8				0.9	
24		1.4				1.8		1.8	1.8	
25	1.4			0	1.7		1.8		1.2	
26		1.6						1.7	1.7	
27	1.3			0	1.7	1.8	1.8		1.7	
28			1.9						1.7	
29	1.4	1.7		1.6		1.6	1.8	1.6	1.7	
30			1.8		1.7					

TS-105-B*Tabla I. 7 Corriente eléctrica (A) del motor del transportador de sólidos TS-105-B durante enero – octubre del 2016*

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
1				1.7		1.8	1.9	1.8		
2		1.4	1.8		1.5				1.8	
3		1.3				1.8				1.7
4	1.4		1.8	1.9	1.7		1.8			
5		1.3							1.8	1.5
6	1.4			1.7	1.5	1.9	1.9			
7			1.7						1.9	1.5
8		1.7		1.8		1.8	1.8	1.8		
9	1.4		1.7		1.7				1.8	
10		1.3				1.9		1.9		1.6
11	1.5		1.7	1.7	1.6		1.7			
12		1.6							1.8	1.6
13	1.4			1.8	1.9	1.8	1.8			
14			1.7						1.9	1.7
15		1.3		1.7		1.8	1.8			
16	1.4		1.8		1.7					
17		1.7				1.6				1.7
18	1.3		1.8	1.8	1.9		1.8			
19		1.7						1.8	1.9	1.7
20	1.1				1.8	1.9	1.7		1.7	
21				1.9					1.7	1.8
22	1.4	1.8	1.8			1.8	1.8	1.8	1.6	
23				1.7	1.8				1.7	
24		1.7				1.8		1.8	1.7	
25	1.4			2	1.8		1.8		1.7	
26		1.7						1.6	1.8	
27	1.4			1.8	1.7	1.8	1.8		1.7	
28			1.6						1.7	
29	1.4	1.7		1.8		1.8	1.9	1.5	1.7	
30			1.8		1.8					

Cárcamo de bombeo

BAN-152-A

Tabla I. 8 Corriente eléctrica (A) del motor de la bomba BAN-152-A durante enero – octubre del 2016

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
1				122.7		193.4	162.5	176.7		
2	145		140.1		130.3				179.1	
3						201.1				187.3
4	136.1			121.2	132.3		169.2			
5									165.2	184
6	127.5			126.2	153.1		173.4			
7			139.7						153.3	194.4
8				126.2			179.6	150		
9	122.8		118		152.5				157.3	
10						176.7				192
11	134.7		145.6	119.6	172.3					
12		153.7							162.3	200
13	141.7			120.6	159.3	142				
14			154						178.7	159.9
15		160.9								
16	139.9		143.6		143.6					
17		148				176.9				175.2
18	155.4		97		128.7		170.3			
19		123.6						171.4	182.7	168.9
20	179.3				121.6		174.6		177.5	
21									181.1	175.5
22	182.1						66.6	186.1	153.5	
23					158.6				167.6	
24		175.5						184.4	158.6	
25	175.6				191		177.9			
26		173.2						151.8		
27	175.9			128.2	179.6		168.6			
28										
29	172			131.2			169.4	171.5		
30					195.3					

BAN-152-B

Tabla I. 9 Corriente eléctrica (A) del motor de la bomba BAN-152-B durante enero - octubre del 2016

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
1								181.9		
2	134.5	146.9	130.9		121.5				179.2	
3		169.1								170.3
4	127.6		144.5	116.9	124.2		157.1			
5		146.6							163.8	173
6	120.6			120.6	142.8	177.2				
7										180.1
8		165.9		120.6		168.2	185.2			
9	116.7				141.1					
10		163.4				167.2				
11	125.2			121.9	160.2		175			
12										
13				123.5	147.2	132.1	168.2			
14										
15				144.1		135.7	176.3			
16			144.1		133.5					
17						164.7				
18	145.7			150.9	122		191.4			
19		113.6						184.1	166.6	
20	172.7				115.1	165.9	181.6		163.3	
21				123.1					166	
22	164.3	190.5	143.1			164.2	172.4			
23				127.5	147.2					
24		174.6				165.9		171.1		
25	173			134.6			184.9		158.9	
26		176.7							151.1	
27	177					164.2	176.8		161.5	
28			134.4						150.6	
29	176.1	130.02		124.2		165.9	176.9	170.6	172.2	
30			143.1							

BAN-152-C

No se tuvo registró de la corriente eléctrica del motor, en el mes de Marzo.

Tabla I. 10 Corriente eléctrica (A) del motor de la bomba BAN-152-C durante enero - octubre del 2016

	Enero	Febrero	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
1			120		187.3	156.7			
2		153.7							
3		174.2			196				
4									
5		151							
6					184.5				
7								189.3	
8		162.1			176.8		175		
9								194.4	
10		165.4					159.8		192
11						179			
12		154.3						194.5	196
13	137.5					192.6			
14								198.7	194.2
15		160.1			145.6	196			
16	134.4								
17		147.4							195.8
18									
19		123.2							194.4
20					173.1				
21									194.9
22		197.3			168.3		191	190.3	
23								193.4	
24					173.1			190.4	
25				184				190.3	
26							190.5	192	
27			119	170.9	168.3			191.3	
28								191.6	
29		134			173.1			190.2	
30				189.7					

Tratamiento Primario

RCP-301-A

No se tuvo registró de la corriente eléctrica en el mes de Octubre.

Tabla I. 11 Corriente eléctrica (A) del motor de la rastra RCP-301-A durante enero - octubre del 2016

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
1				1		0.9	1.6	0.9	
2	0.8	0.8	1		0.8				0.9
3		0.8				0.9			
4	0.8		0.9	0.9	0.8		1.6		
5		0.9							0.9
6	0.8			0.9	0.8	0.9	1.6		
7		0.9							0.9
8				0.9		1	1.6	0.9	
9	0.8	0.9	0.9		0.8				0.9
10						1		0.9	
11	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8		1.5		
12									0.9
13	0.8	0.9		1	1	0.9	0.9		
14			0.8						0.9
15		0.9		1		1	0.9		
16	0.8		1		1				
17		0.9				0.9			
18	0.8		1	1	1		0.9		
19		0.9						0.9	0.9
20	0.8				0.9	0.9	0.9		0.9
21				1					0.9
22	0.8	0.9	1			0.9	0.9	0.9	0.9
23				1	0.9				0.9
24		0.9				0.9		0.9	0.9
25	0.9			1	0.9		0.9		0.9
26		0.8						0.9	0.9
27	0.8			1	0.8	0.9	0.9		0.9
28			1						0.9
29	0.8	0.9		0.9			0.9	0.9	0.9
30			1		0.9				

RCP-301-B

Tabla I. 12 Corriente eléctrica (A) del motor de la rastra RCP-301-B durante enero - octubre del 2016

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
1				1		0.6	0.9	0.9		
2	0.8	0.8	0.9		0.9				0.9	
3		0.8				1				0.9
4	0.9		1	1	0.9		0.9			
5		0.9							0.9	0.9
6	0.9			0.9	0.9	1	0.9			
7		0.9							0.9	0.9
8				0.9		1	0.9	0.9		
9	0.8	0.9	0.9		0.8				0.9	
10						1		0.9		0.9
11	0.8	0.9	0.8	1	0.9		0.9			
12									0.9	0.9
13	0.8	0.9		1	1	1	0.9			
14			1						0.9	0.9
15		0.8		1		1	0.9			
16	0.9		1		1					
17		0.9				0.9				0.9
18	0.9		1	1	1		0.9			
19		0.8						0.9	0.9	0.9
20	0.8				0.9	1	0.9		0.9	
21				1					0.9	0.9
22	0.8	0.8	1			0.9	0.9	0.9	0.9	
23				1	0.9				0.9	
24		0.8				0.9		0.9	0.9	
25	0.8			1	1		0.9		0.9	
26		0.8						0.9	0.9	
27	0.8			1	0.8	0.9	0.9		0.9	
28			1						0.9	
29	0.8	0.9		1			0.9	0.9	0.9	
30			1		1					

RCP-301-C

Tabla I. 13 Corriente eléctrica (A) del motor de la rastra RCP-301-C durante enero - octubre del 2016

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
1				0.8		0.9	0.9	1		
2	0.8	0.8	0.9		0.8				0.9	
3		0.8				0.9				0.9
4	0.9		0.9		0.8		0.9			
5		0.9							1	0.9
6	0.9				0.8	0.9	0.9			
7		0.8							1	0.9
8						0.9	0.9	1.1		
9	0.8	0.8	0.9		0.8				1	
10						0.9		0.9		0.9
11	0.9	0.8	0.9		0.8		0.9			
12									1	0.9
13	0.9	0.8			0.9	0.9	0.9			
14			0.9						1.1	0.9
15		0.8		0.8		0.9	0.9			
16	0.8		0.9		0.9					
17		0.8				0.9				0.9
18	0.9		0.9	1	0.8		0.9			
19		0.8						0.9	0.9	0.9
20	0.8				0.9	0.8	0.9		0.9	
21				0.8					0.9	0.9
22	0.9	0.8	1			0.9	0.9	1.1	0.9	
23				0.8	0.8				0.9	
24		0.8				0.9		1.1	0.9	
25	0.8			0.8	0.8		0.9		0.9	
26		0.9						0.9	0.9	
27	1			0.9	0.8	0.9	0.9		0.9	
28			0.9						0.9	
29	0.8	0.9		0.9			0.9	0.9	0.9	
30			0.9		0.9					

RCP-301-D

Tabla I. 14 Corriente eléctrica (A) del motor de la rastra RCP-301-D durante enero - octubre del 2016

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
1				0.8		0.8	1	1.1		
2	0.9	0.8	1		0.8				1.1	
3		0.8				0.8				1
4	0.9		1	1.1	0.8		1			
5		1.1							1	1
6	0.9			1.1	0.8	0.8	1			
7		0.8							1	1
8				0.8		0.8	1.1	1		
9	0.8	1.1	1		0.8				1	
10						0.8		1		1
11	1	1.1	1	0.8	0.8		1			
12									1	1
13	1	1.1		0.8	1.1	0.8	1			
14			1						1	1
15		1.1		1.1		1	1			
16	1		1		0.8					
17		1				1.1				1
18	1		1	1	0.8		0.8			
19		0.8						1	1	1
20	0.8				1.1	0.8	1.1		1	
21				0.8					1.1	1
22	1.1	0.8	1			1	1.1	1	1	
23				0.8	0.8				1	
24		0.8				1		1	1	
25	0.8			1	0.8		1.1		1	
26		1						1	1	
27	0.8			0.8	0.8	1	1.1		1	
28			1						1	
29	0.8			0.8		1	1.1	1	1	
30			0.8		1.1					

RCP-302-A

Tabla I. 15 Corriente eléctrica (A) del motor de la rastra RCP-302-A durante enero - octubre del 2016

	Enero	Febrero	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
1			0.8		0.8	0.9	0.8		
2	0.8	0.8		0.8				0.9	
3		0.9			0.8				0.9
4	0.8		0.9	0.8		0.8			
5		0.8						0.9	0.8
6	0.8		0.8	0.8	0.8	0.9			
7		0.8						0.8	0.9
8			0.8		0.8	0.8	0.8		
9	0.8	0.9		0.8				0.9	
10					0.8		0.8		0.9
11	0.8	0.8	0.8	0.8		0.8			
12								0.9	0.9
13	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8			
14								0.9	0.8
15		0.9	0.9		0.8	0.8			
16	0.8			0.9					
17		0.8			0.8				0.8
18	0.8		0.9	0.8		0.8			
19		0.8					0.8	0.8	0.9
20	0.8			0.9	0.8	0.8		0.8	
21			0.8					0.8	0.9
22	0.8	0.8			0.9	0.8	0.8	0.8	
23			0.8	0.9				0.8	
24		0.8			0.8		1	0.9	
25	0.8		0.8	0.8		0.8		0.8	
26		0.8					0.8	0.8	
27	0.8		0.9	0.8	0.8	0.8		0.8	
28								0.8	
29	0.8		0.9		0.8	0.8	0.8	0.8	
30				0.8					

RCP-302-B

Tabla I. 16 Corriente eléctrica (A) del motor de la rastra RCP-302-B durante enero - octubre del 2016

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
1				0.9		0.9	0.9	0.9		
2	1	1	0.9		1.1				0.9	
3		0.9				0.9				0.9
4	1.3		0.9	0.9	1		0.9			
5		0.8							0.9	0.9
6	1.3			0.9	1	1	0.9			
7									1	0.9
8				0.9		1	0.9	0.9		
9	1.2		0.9		1				0.9	
10		1.6				0.9		0.9		0.9
11	1.3		0.9	0.9	1		0.9			
12		1.6							0.9	0.9
13	0.9			0.9	0.9	0.9	0.9			
14		1.6	0.9						0.9	0.9
15				0.9		0.9	0.9			
16	1.3	1.5	0.9		0.9					
17						0.9				0.9
18	0.9	1.6	0.9	0.9	0.9		0.9			
19								0.9	0.9	0.9
20	1	1.6			0.9	0.9	0.9		0.9	
21				0.9					0.9	0.9
22	1	0.8	0.9			0.9	0.9	0.9	0.9	
23				0.9	0.9				0.9	
24						0.9		0.9	0.9	
25	0.9	0.7		0.9	1		0.9		0.9	
26								0.9	0.9	
27	0.9	0.9		0.9	1	0.9	0.9		0.9	
28			0.9						0.9	
29	1			1.1		0.9	0.9	0.9	0.9	
30			0.9		0.9					

Anexo II

Datos Fijos

Datos técnicos de los motores y bombas

Pretratamiento

Las rejillas gruesas, 25mm (RA-103-A y RA-103-B) y las rejillas finas, 6mm (RA-104-A y RA-104-B) usan el mismo tipo de motor para su funcionamiento. La Tabla II.1 muestra las características del motor de las rejillas automáticas finas y gruesas.

Tabla II. 1 Datos del motor de las rejillas automáticas gruesas (25mm) y finas (6mm)

Potencia	2	hp
Revoluciones	1800	rpm
Voltaje	460	volt
Frecuencia	60	Hz
Fases	3	
Factor de Potencia (F.P.)	0.8	
Eficiencia	87.5	%

Los Transportadores de Sólidos (TS-105-A y TS-105-B) emplean el siguiente motor para su funcionamiento. La Tabla II. 2 muestra las características del motor de los transportadores sólidos.

Tabla II. 2 Datos del motor de los Transportadores de Sólidos (TS-105-A y TS-105-B)

Potencia	5	hp
Voltaje	460	volt
Fases	3	
Frecuencia	60	Hz
Revoluciones	3600	rpm
NEMA	213T	
Factor de Potencia (F.P.)	0.98	
Eficiencia	85.7	%

Cárcamo de Bombeo

El cárcamo de bombeo cuenta con tres bombas de tipo vertical, dos se encuentran en operación (BAN-152-A y BAN-152-B) y una en relevo (BAN-152-C). Todas comparten las mismas características. La Tabla II.3 muestra las características del motor de las bombas de tipo vertical, y la Tabla II.4 muestra las características de las bombas de tipo vertical.

Tabla II. 3 Datos del motor de las bombas de tipo vertical (BAN-152-A, BAN-152-B y BAN-152-C)

MOTOR					
Potencia Total	150	hp	EFICIENCIA		
Velocidad	1185	rpm	S.F.	95.2	%
Factor Servicio	1.15		FULL (NOMINAL)	95.4	%
Frecuencia	60	Hz	3/4	95.9	%
Eficiencia garantizada	94.5	%	1/2	95.5	%
Polos	6		1/4	93	%
Voltaje	480	Volts	FACTOR POTENCIA (%)		
Temperatura máxima	40	°C	S.F.	82.8	%
Potencia activa	111.9	KW	FULL	82.7	%
NOMINAL PF	82.7		3/4	80.8	%
			1/2	74	%
			1/4	54.4	%
			NO LOAD	4.1	%
			LOCKED ROTOR	24.7	%

Tabla II. 4 Datos de las bombas BAN-152-A, BAN-152-B y BAN-152-C

Condiciones de operación			Líquido		
Flujo	400	l/s	Tipo	Agua	
H requerido	21	m	Temperatura máxima	68	°F
H real	21.23	m	Densidad	1	SG
Factor Servicio	1.15		Viscosidad	1	cP
Frecuencia	60	Hz	Presión de vapor	0.34	psia
Velocidad	1180	rpm			
Diámetro del impulsor normal	10.26	in	Material seleccionado		
Diámetro del impulsor máximo	10.88	in	Impulsor de hierro fundido y bronce		

Diámetro del impulsor mínimo	9.5	in	Potencia		
Eficiencia (tazón) o motor	83.96	%	Potencia hidráulica	110	hp
Eficiencia (bomba)	80.43	%	Potencia tazón o motor	131	hp
NPSH requerido	20.67	ft	Potencia bomba	132	hp
H máxima	49.75	m	Potencia máxima	207	hp
			Potencia mínima del motor	150	hp

La Figura II.1 muestra la curva de operación de la bomba de tipo vertical empleada en el proceso.

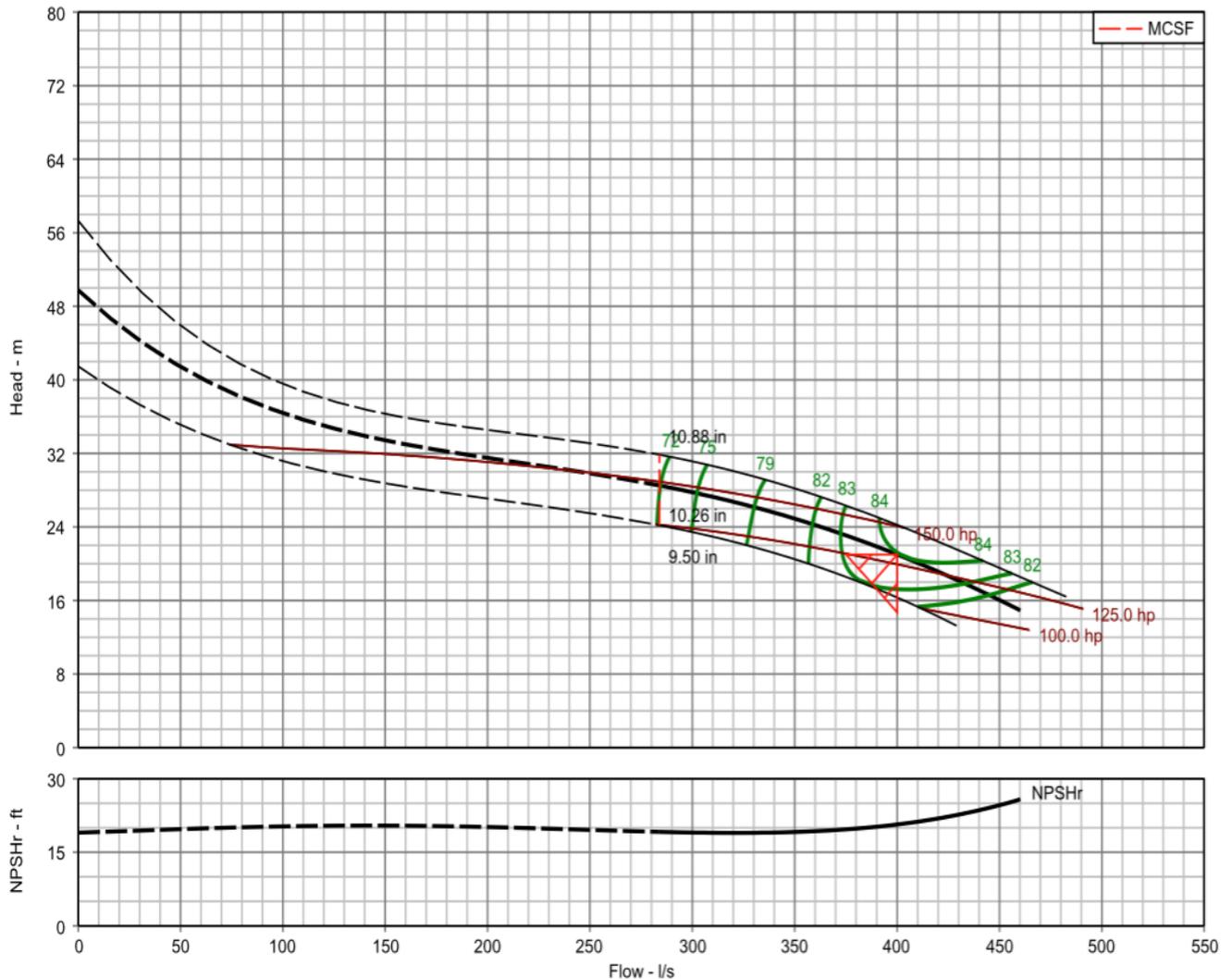


Fig. II. 1 Curva de Operación de las Bombas BAN-152-A, BAN-152-B y BAN-152-C

Tratamiento Primario

El motor empleado para las Rastras (RCP-301-A, RCP-301-B, RCP-301-C, RCP-302-A y RCP-302-B) del Clarificador Primario tiene las siguientes características. La Tabla II.5 muestra las características del motor de las rastras automáticas.

Tabla II. 5 Datos del motor de las rastras RCP-301-A, RCP-301-B, RCP-301-C, RCP-302-A y RCP-302-B

Potencia	5	hp
Voltaje	460	volt
Fases	3	
Frecuencia	60	Hz
Revoluciones	3600	rpm
NEMA	213T	
Factor de Potencia (F.P.)	0.92	
Eficiencia	87.8	%

Factor de Emisión

A través de la Ley General de Cambio Climático (LGCC) se creó el Registro Nacional de Emisiones (RENE) que cuenta con reglamentos y acuerdos, compilando información sobre las emisiones de compuestos y gases de efecto invernadero de los diferentes sectores productivos del país.

En el "Acuerdo que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero" se encuentra el cálculo de las emisiones indirectas de gases o compuestos de efecto invernadero por concepto de consumo de energía eléctrica.

Para determinar la emisión indirecta por concepto de consumo de energía eléctrica, la cual será expresada en términos de bióxido de carbono equivalente (CO₂e), se aplicará la siguiente fórmula (Guerra Abud, 2015):

$$E_{(CO_2e)} = W_{Elect} - FE_{Elect}$$

Donde:

$E_{(CO_2e)}$ Emisión de bióxido de carbono equivalente proveniente del consumo de energía eléctrica (tCO_2e)

W_{Elect} Consumo de energía eléctrica (MWh)

FE_{Elect} Factor de emisión por consumo de energía eléctrica (tCO_2e/MWh)

El valor que se debe considerar para el factor de emisión es el que publique cada año la SEMARNAT, siempre y cuando el proveedor sea la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

De acuerdo al Aviso para el reporte del Registro Nacional de Emisiones, se podrá emplear por única ocasión el factor de emisión eléctrico correspondiente al 2015 para la estimación de emisiones del año 2016 (SEMARNAT, 2017). Dicho valor es **0.458** toneladas de CO₂ / MWh.

Referencias

Acuerdo que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México, 3 de septiembre de 2015.

Astrup, Hoffman, Moller, Schmidt, dk-TEKNIK, Christiansen, Berendsen, Elkington y van Dijk (1997). Life Cycle Assessment (LCA) A guide to approaches, experiences and information sources. Environmental Issues Series, 6, 119.

Bizkai Lab (2012). Metodología para el análisis de ciclo de vida de depuradoras de aguas residuales. Universidad de Deusto.

Chauca S. (2015). Análisis de ciclo de vida de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en Lima. Civilízate, 6, 47-48 pp.

CONAGUA (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Libro 25: Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales. SEMARNAT México.

CONAGUA (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Libro 26: Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario. SEMARNAT México.

CONAGUA (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Libro 41: Eficiencia Energética, Uso Eficiente y Ahorro de la Energía. SEMARNAT México.

CONAGUA (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Libro 45: Evaluación Rápida de Plantas Potabilizadoras. SEMARNAT México.

CONAGUA (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Libro 46: Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Pretratamiento y tratamiento primario. SEMARNAT México.

Condorchem (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales. Recuperado en marzo 14, de 2018, de <https://blog.condorchem.com/tag/sistemas-anoxicos/>

CONUEE, GIZ (2011). Estudio Integral de Sistemas de Bombeo de Agua Potable Municipal. SENER. México.

Díaz A., Folgueras D. (2011). Auditoría energética en una planta de tratamiento de agua potable. Departamento de Energía. Universidad de Oviedo.

Fernández R. (2007). Aplicación del Análisis del Ciclo de Vida en el estudio ambiental de diferentes Procesos Avanzados de Oxidación. Universidad Autónoma de Barcelona.

García J.S., Herrera I., Rodríguez A. (2010). Análisis de Ciclo de Vida de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Caso: PTARM de Yautepec (Morelos, México). Informe Técnico CIEMAT.

GREENHOUSE GAS PROTOCOL (2011). Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development, USA.

Hernández P. (2016). Análisis de ciclo de vida como herramienta de decisión para el tratamiento de agua residual en América Latina y el Caribe. Universidad Nacional Autónoma de México.

IPCC (2006). Doorn M., Towprayoon S., Manso S., Irving W., Palmer C., Pipatti R., Wang C. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Capítulo 6: Tratamiento y eliminación de Aguas Residuales. Recuperado en abril 13 de 2018 de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5_Volume5/V5_6_Ch6_Wastewater.pdf

ISO 14044:2006(es) Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Requisitos y directrices. Recuperado en enero 18, de 2018, de <https://inen.isolutions.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:es>

Klopffer W. (1997). Life Cycle Assessment From the Beginning to the Current State. *ESPR- Environ. Sci. & Pollut*, 4, 223-224 pp.

Ley General de Cambio Climático. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México, 2 de abril de 2015.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2016). Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización. Madrid, España.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-165-SEMARNAT-2013, Que establece la lista de sustancias sujetas a reporte para el registro de emisiones y transferencia de contaminantes. Ciudad de México, México, 24 de enero de 2014.

Real Academia Española (2010). El adverbio *solo* y los pronombres demostrativos, sin tilde. Recuperado en abril 13 de 2018 de <http://www.rae.es/consultas/el-adverbio-solo-y-los-pronombres-demostrativos-sin-tilde>

Real Academia Española (2010). Tilde en *qué, cuál/es, quién/es, cómo, cuán, cuánto/a/os/as, cuándo, dónde y adónde*. Recuperado en abril 13 de 2018 de <http://www.rae.es/consultas/tilde-en-que-cuales-quienes-como-cuan-cuantoaosas-cuando-donde-y-adonde>

Registro Nacional de Emisiones (RENE), (2017). Para el reporte de emisiones de compuestos y gases de efecto invernadero. Recuperado en enero 22, de 2018, de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene>

Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en materia del Registro Nacional de Emisiones. Diario Oficial de la Federación (2014).

Romero R. (2003). El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental. *Boletín IIE*, 91-97 pp.

SEMARNAT (2013). *Atmósfera, Cambio Climático*. México. Recuperado en marzo 10, de 2018 de

http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/05_atmosfera/5_2_2.html

SEMARNAT, (2016). AVISO para el reporte del Registro Nacional de Emisiones. Ciudad de México, México.

SEMARNAT, (2017). AVISO para el reporte del Registro Nacional de Emisiones. Ciudad de México, México.

SEMARNAT, Dirección General de Políticas para el Cambio Climático. Criterios para la verificación de los reportes de Emisiones de Compuestos y Gases de Efecto Invernadero en el marco del Registro Nacional de Emisiones. Recuperado en enero 29, de 2018, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/236036/Criterios_de_Verificacion_de_emisiones_de_GEI.pdf

SEMARNAT (2013, Abril). Elaboración propia con base en: Coordinación del Programa de Cambio Climático, 2012 y Consejo Nacional de Población (Conapo). *Proyecciones de la población de México 2010-2050 y estimaciones 1990-2009*. México.

SEMARNAT, CONAGUA. Normas Oficiales Mexicanas: NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997. Recuperado en marzo 14, de 2018 de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-15-13.pdf>

Vega R. (2010). Análisis de ciclo de vida de sistemas de tratamiento de aguas residuales: influencia de los materiales utilizados. Universidad Autónoma de Barcelona.

Wisconsin Department of Health Services (2017). Carbon Dioxide. Recuperado en enero 27, de 2018, de <https://www.dhs.wisconsin.gov/chemical/carbondioxide.htm>