

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y  
OPTIMIZACIÓN DEL RECURSO ENERGÉTICO A TRAVÉS  
DE TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA LA  
PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO Y  
EMULSIONES ASFÁLTICAS**

PRESENTADO POR:

**ROCÍO YAMILETH GARCÍA VALLADARES  
MARIO ERNESTO KHALIL ZELADA  
GONZALO ADALBERTO PORTILLO PALACIOS**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
**INGENIERO QUÍMICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2018

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

**MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

**SECRETARIO GENERAL:**

**MSc. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**DECANO:**

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL**

**SECRETARIO:**

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERIA QÍMICA**

**DIRECTOR:**

**INGA. TANIA TORRES RIVERA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO QUÍMICO**

Título:

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y  
OPTIMIZACIÓN DEL RECURSO ENERGÉTICO A TRAVÉS  
DE TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA LA  
PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO Y  
EMULSIONES ASFÁLTICAS**

Presentado por:

**ROCÍO YAMILETH GARCÍA VALLADARES  
MARIO ERNESTO KHALIL ZELADA  
GONZALO ADALBERTO PORTILLO PALACIOS**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**INGA. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA**

Docente Asesor Externo:

**ING. NELSON MAURICIO VAQUERO ANDRADE**

SAN SALVADOR, MARZO DE 2018

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**INGA. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA**

Docente Asesor Externo:

**ING. NELSON MAURICIO VAQUERO ANDRADE**

## **AGRADECIMIENTOS GENERALES**

A la Universidad de El Salvador y a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura por brindarnos los conocimientos científicos ingenieriles necesarios para aplicarlos en los procesos industriales; así como los recursos necesarios para llevar a cabo dicho aprendizaje.

A nuestros asesores, Ing. Eugenia Salvadora Gamero de Ayala, asesora interna; e Ing. Nelson Mauricio Vaquero Andrade, asesor externo; por su valioso apoyo, asesoramiento e instrucción durante la carrera y en el presente trabajo de grado.

Al Centro Nacional de Producción más Limpia (CNPML) por permitirnos instruirnos en el mundo de las técnicas de producción más limpia a través de pasantías, materias electivas y en el interés por involucrar al cuerpo estudiantil de la Universidad de El Salvador en sus proyectos.

A la Ing. Karen de Vadillo por ser nuestra facilitadora y enlace fundamental en la obtención de toda la gama de información necesaria por parte de la empresa ejemplo.

Al cuerpo docente de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos por su enseñanza y colaboración durante toda la carrera.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, doy gracias a Dios por haberme dado la fuerza y conocimiento necesario para culminar la carrera, porque aun cuando todo parecía demasiado malo siempre me ayudó a ver la luz a través de las dificultades.

Agradezco a mis padres Fidelina Valladares y Manuel García, por su incondicional amor y apoyo, y por nunca permitir que me faltase nada en mis años universitarios. Este título también es de ustedes por siempre creer en mí. A mi hermana y mi sobrino que siempre hicieron mis días más llevaderos a pesar de la distancia.

A mis amigos Walter Vaquero, Gilma Ramírez, Mario Guillén, Yamileth Medina, Manuel Pacheco, Alexander Reynoza, Emily Beltranena, Laura Hernández, Jacqueline Díaz, Gabriel Guzmán, porque sin duda en mis años universitarios encontré a los mejores amigos que pudiera pedir. Gracias por los momentos compartidos, las noches de estudio, su lealtad, apoyo y ánimo a lo largo de este trayecto, sin duda han hecho que el camino haya sido más interesante y la carga más ligera.

A mis compañeros de casa en mi vida como estudiante Adriana Alfaro, Alejandro Miranda, Gabriela Madrid, Nathalia Romero, por ser mi familia y escucharme cuando lo necesitaba.

A mis compañeros de tesis Mario Khalil y Gonzalo Portillo por siempre mantenernos como equipo y porque más que compañeros y colegas también somos amigos.

A nuestra asesora interna Inga. Gamero por su comprensión y guía a lo largo de este trabajo, por siempre tener fe en este equipo y por todas las enseñanzas del trayecto.

A nuestro asesor externo Ing. Nelson Vaquero quien más que un asesor también ha sido un amigo y un ejemplo fundamental en el desarrollo de mi vida laboral.

A mi queridísima alma máter, a todos mis docentes, compañeros, conocidos y todos aquellos que de una u otra manera han realizado un aporte para llegar a este logro.

***Rocío Yamileth García.***

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios todopoderoso y a la Virgen, por permitirme culminar una etapa más de mi vida profesional. Por la vida, la salud, el conocimiento y la sabiduría durante todos estos años.

A la Universidad de El Salvador por la formación profesional y el apoyo por medio de su Unidad de Estudio Socioeconómico (UESE) por brindarme una beca durante mi carrera.

A mis padres, Mario Ernesto Khalil y Elba Ruth de Khalil por su amor y apoyo incondicional durante estos años; por creer en mí y animarme a seguir adelante. Sin ellos no sería posible éste logro.

A mi familia paterna y materna por siempre estar al pendiente de mí, creer en mí y exhortarme a continuar sin importar lo difícil que parezca.

A mis amigos de la carrera, sin duda alguna se convirtieron en mi segunda familia durante estos años. El día a día en la universidad se hizo más llevadero con su apoyo, amistad y lealtad.

A mis compañeros de trabajo de graduación, Yamileth García y Gonzalo Portillo por hacer un gran equipo en este proceso.

A mis asesores, Ing. Eugenia Salvadora Gamero de Ayala e Ing. Nelson Mauricio Vaquero Andrade, por sus valiosas orientaciones en este trabajo de grado y durante la carrera. Con certeza puedo afirmar que gran parte de mis conocimientos se los debo a ellos. Gracias por su apoyo y enseñanzas.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería Química, por su gran labor en el don de enseñar y formar en las aulas; sin ellos esto no sería posible.

***Mario Khalil.***

## AGRADECIMIENTOS

Son incontables las personas a las que deseo agradecer por acompañarme hasta este momento a lo largo de mis años de universidad, intentare en estas breves líneas incluir a cada uno de ustedes que han sido parte de mi formación y mi desarrollo.

A mis padres Juan Adalberto Portillo y Blanca Alicia Palacios, por ser inconmensurablemente pacientes, por brindarme el apoyo incondicional más allá de lo que un hijo esperaría, todo con el objetivo de darme esta oportunidad de formarme a nivel superior; para cada caída en este trayecto madre fuiste mi consuelo y tu padre mi más firme apoyo, estoy eternamente en deuda con ambos y quiero expresar mi infinita gratitud a ustedes los principales autores de este logro.

En estos años he tenido la oportunidad de conocer a muchísimas personas, a las cuales les agradezco por ser parte inherente de esta travesía, pero dentro de todas ellas están aquellos que se destacan y a los que mis agradecimientos en estas líneas no son nada, comparado con lo que ellos hicieron estos años por mí.

Amaranta Alas gracias, has sido fundamental y muy especial para mi vida, a ti y tu familia les estoy eternamente agradecido por darme tanto apoyo y tanto aprecio en estos años, solo puedo decir que me hacen sentir como en mi hogar.

Alejandra Calderón, estoy en deuda contigo y con tu familia por brindarme un lugar y un espacio siempre que lo necesite; Familia López Juárez, gracias por abrirme las puertas de su hogar donde quiera que fuera. Manuel Guzmán y familia Guzmán Ortega, muchas gracias por darme otro lugar al que llamar casa, amigo estoy en deuda por cada vez que llegué sin avisar y siempre fui bienvenido.

A mis compañeros de trabajo de grado, Yamileth García y Mario Khalil por no desistir y seguir hasta culminar esta última prueba.

A todos los docentes que tuvieron parte en mi formación académica, gracias por darme las bases para iniciar en esta profesión; Y a todos y cada uno de aquellos a los que han estado ahí directa o indirectamente, muchísimas gracias.

***Gonzalo Portillo.***



## RESUMEN

Esta investigación está enfocada en la aplicación de metodologías de PML en la industria asfáltica, donde se analiza el proceso productivo de la misma para la propuesta de medidas energéticas que ayuden a optimizar el proceso y disminuir la cantidad de recursos y el impacto ambiental, lo cual se respalda de la aplicación de la metodología MEL-ENEL para la identificación de factores que generan el mayor impacto en los procesos de la empresa.

La metodología de producción más limpia establece cinco etapas fundamentales que se desarrollaron a lo largo de esta investigación. Se realizó una auditoría energética a la empresa donde se obtuvieron los datos de consumo energético térmico y eléctrico actual, y se identificaron los potenciales de mejora en las diferentes áreas.

Se evalúan las propuestas de mejora en base a su viabilidad técnica, económica y ambiental, con el objetivo de determinar el beneficio económico y los indicadores financieros respectivos como son TIR y VAN.

Los resultados de la TIR y VAN para el proyecto fueron de 44.22% y US\$ 16,337.11 respectivamente, con lo que se finaliza el análisis económico del proyecto para un período de 15 años. Respecto al estudio de impacto ambiental, el impacto genérico con mayor preponderancia es la atmósfera con un 100%, seguido de la calidad del agua con 85.22%, luego el suelo con 55.66% y por último la salud y seguridad con 54.69%.

## Índice de Contenido

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	i
<b>1. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA INDUSTRIA DEL ASFALTO E IMPACTO AMBIENTAL.</b> .....	1
<b>1.1. CONCEPTOS GENERALES DEL ASFALTO.</b> .....	1
<b>1.1.1. ASFALTO.</b> .....	1
<b>1.1.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS.</b> .....	5
<b>1.1.3 EMULSIONES ASFÁLTICAS.</b> .....	9
<b>1.2 INDUSTRIA ASFÁLTICA EN EL SALVADOR.</b> .....	13
<b>1.2.1 ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA ASFALTICA.</b> .....	13
<b>1.2.2 DESARROLLO E IMPORTANCIA DE LA INDUSTRIA ASFALTICA.</b> .....	15
<b>1.2.3 DEMANDA: EXPORTACIONES E IMPORTACIONES DE ASFALTO EN EL SALVADOR.</b> .....	18
<b>1.3 ENSAYOS PARA EMULSIONES Y MEZCLAS ASFÁLTICAS.</b> .....	25
<b>1.4 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA EMULSION ASFALTICA Y MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO.</b> .....	27
<b>1.4.1 EMULSIONES ASFÁLTICAS.</b> .....	28
<b>1.4.2 MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO.</b> .....	31
<b>1.5 CONCEPTOS GENERALES DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.</b> .....	33
<b>2. PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA (PML), EFICIENCIA ENERGÉTICA Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.</b> .....	38
<b>2.1. SIGNIFICADO Y DEFINICIÓN DE PML.</b> .....	38

<b>2.2. MARCOS REGULATORIOS EN EL SALVADOR.....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.1. PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA.....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA.....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.3. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. ....</b>	<b>47</b>
<b>2.3 METODOLOGÍA DE PML.....</b>	<b>48</b>
<b>2.3.1 PLANEACIÓN Y ORGANIZACIÓN. ....</b>	<b>49</b>
<b>2.3.2 PRE-EVALUACIÓN.....</b>	<b>53</b>
<b>2.3.3 DIAGNÓSTICO.....</b>	<b>56</b>
<b>2.3.4 ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD.....</b>	<b>61</b>
<b>2.3.5 IMPLEMENTACIÓN Y CONTINUIDAD.....</b>	<b>63</b>
<b>2.4 METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL: MÉTODO MEL-ENEL.....</b>	<b>66</b>
<b>2.4.1 ETAPA I - DESGLOSE DE ACCIONES DEL PROYECTO.....</b>	<b>66</b>
<b>2.4.2 ETAPA II - DESGLOSE DE FACTORES AMBIENTALES.....</b>	<b>67</b>
<b>2.4.3 ETAPA III - MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.....</b>	<b>68</b>
<b>2.4.4 ETAPA IV - CATEGORÍAS POR IMPACTOS GENÉRICOS.....</b>	<b>69</b>
<b>2.4.5 ETAPA V - EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS GENÉRICOS.....</b>	<b>70</b>
<b>2.4.6 ETAPA VI - PRIORIZACIÓN POR SIGNIFICANCIA.....</b>	<b>72</b>
<b>3. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL PARA PROCESOS DE EMULSIÓN ASFALTICA Y MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO. ....</b>	<b>75</b>
<b>3.1. ETAPA I. DESGLOCE DE ACCIONES DEL PROYECTO.....</b>	<b>75</b>
<b>3.2. ETAPA II. DESGLOCE DE FACTORES AMBIENTALES.....</b>	<b>76</b>
<b>3.3. ETAPA III. MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS. ....</b>	<b>77</b>
<b>3.4. ETAPA IV. CATEGORÍAS POR IMPACTOS GENÉRICOS. ....</b>	<b>83</b>

<b>3.5.</b>	<b>ETAPA V. EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS GENÉRICOS.</b>	<b>89</b>
<b>3.6.</b>	<b>ETAPA VI. PRIORIZACIÓN POR SIGNIFICANCIA.</b>	<b>89</b>
<b>4.</b>	<b>DESARROLLO DE METODOLOGÍA DE PML PARA PROCESOS DE EMULSIÓN ASFALTICA Y MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO.</b>	<b>92</b>
<b>4.1.</b>	<b>ETAPA I. PLANEACIÓN Y ORGANIZACIÓN.</b>	<b>92</b>
<b>4.2.</b>	<b>ETAPA II. PRE-EVALUACIÓN.</b>	<b>95</b>
<b>4.2.1.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE LA EMPRESA.</b>	<b>96</b>
<b>4.2.2.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL CONSUMO TÉRMICO DE LA EMPRESA.</b>	<b>100</b>
<b>4.2.3.</b>	<b>INDICADORES ENERGÉTICOS.</b>	<b>102</b>
<b>4.2.4.</b>	<b>EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.</b>	<b>108</b>
<b>4.2.5.</b>	<b>CUANTIFICACIÓN DE CONSUMIDORES.</b>	<b>109</b>
<b>4.2.6.</b>	<b>FLUJOGRAMAS DE PROCESO DE PRODUCCIÓN.</b>	<b>118</b>
<b>4.3.</b>	<b>ETAPA III. DIAGNÓSTICO.</b>	<b>120</b>
<b>4.3.1.</b>	<b>BALANCE TÉRMICO.</b>	<b>120</b>
<b>4.3.2.</b>	<b>BALANCE ELÉCTRICO.</b>	<b>124</b>
<b>4.3.3.</b>	<b>BALANCE DE MATERIA.</b>	<b>126</b>
<b>4.3.4.</b>	<b>PROPUESTAS DE MEJORA.</b>	<b>129</b>
<b>4.4.</b>	<b>ETAPA IV. FACTIBILIDAD.</b>	<b>160</b>
<b>4.4.1.</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO Y PROYECCIÓN DE AHORROS POR IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA.</b>	<b>161</b>
<b>4.4.2.</b>	<b>PROYECCIÓN CON FINANCIAMIENTO BANCARIO.</b>	<b>168</b>
<b>4.5.</b>	<b>ETAPA V. IMPLEMENTACIÓN Y CONTINUIDAD.</b>	<b>174</b>
<b>5.</b>	<b>OBSERVACIONES.</b>	<b>176</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>177</b>

<b>7. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>179</b>
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>180</b>
<b>8.1. DOCUMENTOS CONSULTADOS.....</b>	<b>180</b>
<b>8.2. SITIOS WEB CONSULTADOS.....</b>	<b>182</b>
<b>ANEXOS 1. GLOSARIO DE TERMINOS Y ABREVIATURAS.....</b>	<b>184</b>
<b>ANEXOS 2. CONTENIDO DEL MANUAL DE QUEMADOR PARA QUEROSENO.....</b>	<b>188</b>
<b>ANEXOS 3. CONTENIDO DEL MANUAL DE QUEMADOR PARA GLP.....</b>	<b>190</b>

## Índice de Figuras.

Figura 1.1	Asfalto Oxidado o Soplado. ....	2
Figura 1.2	Gilsonita. ....	2
Figura 1.3	Lago de la brea en Trinidad y Tobago. ....	3
Figura 1.4	Estructura química de los asfaltos. ....	4
Figura 1.5	Mezcla asfáltica en caliente. ....	6
Figura 1.6	Diagrama esquemático de una emulsión. ....	10
Figura 1.7	Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica. ....	12
Figura 1.8	Carreteras asfaltadas en américa. ....	13
Figura 1.9	MOP y FOVIAL finalizan plan de invierno. ....	16
Figura 1.10	Proceso de producción Emulsión Asfáltica. ....	29
Figura 1.11	Proceso de emulsificación e intercambiador de calor. ....	31
Figura 1.12	Proceso de producción Mezcla Asfáltica en Frío. ....	32
Figura 1.13	Esquema evaluación de impacto ambiental. ....	33
Figura 2.1	Fases de metodología de PML. ....	49
Figura 2.2	Actividades en la etapa de planeación y organización. ....	50
Figura 2.3	Actividades en la etapa de pre evaluación. ....	54
Figura 2.4	Actividades en la etapa de diagnóstico. ....	57
Figura 2.5	Actividades en la etapa de factibilidad. ....	61
Figura 2.6	Etapas en la implementación y continuidad. ....	63
Figura 2.7	Diagrama de actividades para aplicación de metodología de producción más limpia. ....	65
Figura 2.8	Diagrama Método MEL-ENEL. ....	74
Figura 4.1	Gráfico del historial de consumo kWh por mes en la empresa. ....	98
Figura 4.2	Gráfico de desglose de facturación de energía eléctrica. ....	99
Figura 4.3	Gráfica de demanda registrada y factor de potencia. ....	99
Figura 4.4	Comportamiento del consumo de combustible expresado en Giga Joule de energía. ....	102

Figura 4.5	Comportamiento de indicador de desempeño energético para emulsión asfáltica.....	105
Figura 4.6	Comportamiento de indicador de desempeño energético para mezcla asfáltica.....	106
Figura 4.7	Comportamiento de indicador de desempeño de emisiones para emulsiones asfálticas. ....	106
Figura 4.8	Comportamiento de indicador de desempeño de emisiones para mezcla asfáltica.....	107
Figura 4.9	Comportamiento de indicador de desempeño para emulsión asfáltica.....	107
Figura 4.10	Ejemplo de bomba transportadora de fluido. ....	110
Figura 4.11	Fotografía de molino coloidal. ....	112
Figura 4.12	Fotografía de aire acondicionado tipo central. ....	113
Figura 4.13	Ejemplo de quemadores utilizados.....	116
Figura 4.14	Flujograma de proceso de producción de emulsiones asfálticas ..	118
Figura 4.15	Flujograma de proceso de producción de mezclas en frío.....	119
Figura 4.16	Gráfico de distribución de consumo de queroseno. ....	124
Figura 4.17	Balance energético eléctrico de la empresa. ....	125
Figura 4.18	Balance de materia para emulsión asfáltica. ....	127
Figura 4.19	Balance de materia para mezcla asfáltica en frío. ....	128

## Índice de Tablas.

Tabla 1.1	Importación de productos derivados del petróleo año 2000 (Volumen en barriles). .....	20
Tabla 1.2	Consumo local anual de productos derivados del petróleo reportados por compañías año 2016 (Volumen en galones). .....	22
Tabla 1.3	Consumo total de Asfalto reportados por compañías año 2016 y su respectivo costo (Volumen galones y costo total en dólares).....	24
Tabla 1.4	Ensayos para mezclas asfálticas. ....	25
Tabla 1.5	Ensayos para emulsiones asfálticas. ....	27
Tabla 1.6	Escala de impactos ambientales. ....	37
Tabla 1.7	Categorización de impactos ambientales. ....	37
Tabla 2.1	Ejemplos de obstáculos en la implementación de un programa de PML.....	53
Tabla 3.1	Desglose de actividades en la planta. ....	75
Tabla 3.2	Desglose de factores ambientales.....	77
Tabla 3.3	Matriz de identificación de impactos. ....	78
Tabla 3.4	Nombres claves de la matriz de identificación de impactos. ....	79
Tabla 3.5	Categorización por impactos genéricos. ....	83
Tabla 3.6	Resumen de categorización por impactos genéricos.....	88
Tabla 3.7	Evaluación de impactos genéricos. ....	89
Tabla 3.8	Matriz CSR (Creación de parejas). ....	90
Tabla 3.9	Calificación de impactos por características .....	90
Tabla 3.10.	Matriz de CSR .....	91
Tabla 3.11.	Cálculo de porcentajes (%) de la matriz de CSR. ....	92
Tabla 4.1	Obstáculos identificados en la empresa. ....	95
Tabla 4.2	Distribución de precios de energía eléctrica en función de horario de consumo. ....	96
Tabla 4.3	Historial de facturación eléctrica de la empresa.....	97



Tabla 4.4	Datos de consumo de combustible.....	100
Tabla 4.5	Historia de consumo de combustible y energía de la empresa. ....	101
Tabla 4.6	Indicadores Energéticos de empresa ejemplo. ....	104
Tabla 4.7	Emisiones totales de la empresa ejemplo.....	109
Tabla 4.8	Inventario de motores de la empresa. ....	111
Tabla 4.9	Datos de consumo eléctrico de molino coloidal. ....	112
Tabla 4.10	Inventario de Aires acondicionados de la empresa.....	113
Tabla 4.11	Inventario de luminarias de la empresa ejemplo. ....	115
Tabla 4.12	Inventario de equipo de laboratorio de mayor uso. ....	116
Tabla 4.13	Inventario de quemadores de queroseno. ....	117
Tabla 4.14	Energía total mensual requerida por el proceso. ....	120
Tabla 4.15	Energía total mensual requerida para calentamiento de asfalto. ...	121
Tabla 4.16	Energía mensual total requerida para calentamiento de agua. ....	122
Tabla 4.17	Energía total mensual requerida para calentamiento de aceite térmico.....	123
Tabla 4.18	Distribución del consumo de queroseno. ....	124
Tabla 4.19	Balance eléctrico de la empresa.....	125
Tabla 4.20	Volúmenes de composición anual de emulsión asfáltica. ....	126
Tabla 4.21	Masas de composición anual de mezcla asfáltica en frío. ....	127
Tabla 4.22	Resumen de resultados de remplazo de luminarias. ....	131
Tabla 4.23	Resumen de viabilidad económica y ambiental de remplazo de luminarias.....	133
Tabla 4.24	Resumen de viabilidad técnica para sustitución de aires acondicionados. ....	135
Tabla 4.25	Resumen de viabilidad de la medida sustitución de aires acondicionados. ....	138
Tabla 4.26	Datos de motores de mayor consumo energético.....	139
Tabla 4.27	Especificaciones actuales y propuestas para motor rotador de emulsión.....	140

Tabla 4.28	Especificaciones actuales y propuestas para motor de bomba de asfalto. ....	141
Tabla 4.29	Especificaciones actuales y propuestas para motor de mezcladora. ....	142
Tabla 4.30	Resumen de la medida de eficiencia energética cambio de motores a implementar.....	144
Tabla 4.31	Resumen de quemadores actuales. ....	147
Tabla 4.32	Resumen de tecnología propuesta. ....	148
Tabla 4.33	Parámetros para queroseno. ....	150
Tabla 4.34	Parámetros para. GLP.....	150
Tabla 4.35	Resumen de la medida cambio de quemadores a implementar. ....	151
Tabla 4.36	Datos generales de tubería de transporte de asfalto. ....	152
Tabla 4.37	Resumen de parámetros a utilizar en la estimación de pérdidas sin aislamiento. ....	152
Tabla 4.38	Resumen de parámetros a utilizar en la estimación de pérdidas con aislamiento. ....	155
Tabla 4.39	Cuadro resumen de datos estimados para los tramos de tubería estudiados.....	157
Tabla 4.40	Resumen de la medida aislamiento de tuberías a implementar.....	159
Tabla 4.41	Parámetros para Flujo de Caja.....	161
Tabla 4.42	Costo para combustible y energía eléctrica en empresa ejemplo. ...	162
Tabla 4.43	Ahorros energéticos eléctricos (kWh) y térmicos (galones) por la implementación de medidas de PML y EE. ....	162
Tabla 4.44	Ahorros monetarios totales por la implementación de las medidas de PML y EE.....	163
Tabla 4.45	Ahorros monetarios anuales por medida de implementación para el período de proyección. ....	164
Tabla 4.46	Resumen de inversiones por equipo para implementación de medidas de eficiencia energética. ....	165
Tabla 4.47	Datos de depreciación para aires acondicionados.....	166

Tabla 4.48	Datos de depreciación para motores. ....	167
Tabla 4.49	Datos de depreciación para quemadores. ....	167
Tabla 4.50	Flujo de caja del proyecto con financiamiento bancario. ....	169
Tabla 4.51	Indicadores financieros. ....	171
Tabla 4.52	Resumen de la línea base de la empresa ejemplo. ....	172
Tabla 4.53	Resumen de beneficios al aplicar las recomendaciones técnicas. .	173
Tabla 4.54	Resumen de recomendaciones técnicas. ....	174
Tabla 4.55	Monitoreo y seguimiento de medidas sugerido. ....	175

## INTRODUCCIÓN

En El Salvador; la construcción, desarrollo y mejora de carreteras es un hecho que toma importancia crucial en la industria de proceso químico.

Los procesos químicos deben ser eficientes lo que conlleva a cumplir no solo con aspectos ambientales y económicos, sino también con aspectos sociales.

El gasto energético y los recursos utilizados para la fabricación de mezclas asfálticas en frío y emulsiones asfálticas pueden ser aprovechados de forma óptima para generar menor impacto ambiental y tener un mejor manejo de recursos.

La mezcla asfáltica es uno de los productos que desde épocas pasadas se emplea en la construcción de calles. La investigación se enfocará en el desarrollo de dos productos fundamentales Mezclas Asfálticas en Frío (MAF) y Emulsiones Asfálticas (EA).

El primer producto es la combinación de agregados pétreos de diferente granulometría con aglutinante asfáltico. Estos agregados adecuadamente graduados por su tamaño y escogidos por las propiedades que les provee su naturaleza forman lo que llamamos, el esqueleto pétreo y se mantienen íntimamente adheridos y cohesionados por las propiedades que posee el aglutinante a quien comúnmente se llama asfalto. El asfalto, cuyo nombre completo es “Cemento asfáltico” tiene varias presentaciones, y para el caso, es la conocida como asfalto emulsionado o más comúnmente llamado “Emulsión Asfáltica”. Este producto puede ser utilizado para el bacheo de calles secundarias y terciaria del país, carpetas y capas intermedias de refuerzo, el uso de este permite que se reduzca en gran

medida el uso de combustibles y otros consumidores de energía que hacen de este un proceso más amigable con el medio ambiente y a su vez tiene ventajas en la seguridad ocupacional de los trabajadores en esta rama.

El segundo producto de las emulsiones asfálticas son productos derivados de la mezcla del asfalto calentado, agua caliente y adicionalmente se tiene el emulsificante, el cual se deposita en la interface entre el agua y el asfalto, lo cual sirve para estabilizar la emulsión dependiendo del tipo que se requiera.

Es claro, que es necesario ser más eficientes en la producción de dichas mezclas asfálticas para impulsar el desarrollo del proceso químico sin comprometer los recursos existentes.

## **1. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA INDUSTRIA DEL ASFALTO E IMPACTO AMBIENTAL.**

Desde la antigüedad el asfalto proveniente de yacimientos naturales era utilizado para evitar filtración en barcos y otras estructuras. Desde 1900, se comenzó a utilizar para la pavimentación de carreteras y vías urbanas, por lo que el estudio de sus características, composición y clasificación se mantiene en avance.

### **1.1. CONCEPTOS GENERALES DEL ASFALTO.**

Según su origen, y el uso para el que está destinado hay diferentes tipos de asfaltos y de mezclas realizadas con el mismo tales como las emulsiones y las mezclas en frío.

En este apartado se aborda de manera detallada cada una de las respectivas clasificaciones.

#### **1.1.1. ASFALTO.**

El asfalto, también denominado betún, es un material viscoso, pegajoso y de color plomo (gris oscuro). Se utiliza mezclado con arena o gravilla para pavimentar caminos y como revestimiento impermeabilizante de muros y tejados. En las mezclas asfálticas es usado como aglomerante para la construcción de carreteras, autovías o autopistas. Está presente en el petróleo crudo y compuesto casi por completo de betún bitumen. El asfalto es una sustancia que constituye la fracción más pesada del petróleo crudo.

Se encuentra a veces en grandes depósitos naturales, como en el lago Asfaltites o mar Muerto, lo que se llamó betún de Judea. Su nombre recuerda el lago Asfaltites

(el mar Muerto), en la cuenca del río Jordán. Es una sustancia negra, pegajosa, sólida o semisólida según la temperatura ambiente; a la temperatura de ebullición del agua tiene consistencia pastosa, por lo que se extiende con facilidad. Se utiliza para revestir carreteras, impermeabilizar estructuras, como depósitos, techos o tejados, y en la fabricación de baldosas, pisos y tejas. No se debe confundir con el alquitrán, que es también una sustancia negra, pero derivada del carbón, la madera y otras sustancias. El asfalto se encuentra en depósitos naturales, pero casi todo el que se utiliza hoy es artificial, derivado del petróleo. Para pavimentar se emplean asfaltos de destilación, hechos con los hidrocarburos no volátiles que permanecen después de refinar el petróleo para obtener gasolina y otros productos.



**Figura 1.1 Asfalto Oxidado o Soplado.**

*Fuente: zapatachavez.blogspot.*

Entre los tipos de asfaltos se tienen:

- a. Asfaltos Oxidados o Soplados.
- b. Asfaltos Sólidos o Duros.
- c. Fluxante o Aceite Fluxante.
- d. Asfaltos Fillerizados.
- e. Asfaltos Líquidos.
- f. Asfaltos Emulsificados.



**Figura 1.2 Gilsonita.**

*Fuente: Documento "Especialización en gerencia de producción y operaciones"*

En la fabricación de materiales para tejados y productos similares se utilizan los asfaltos soplados (ver Figura 1.1), que se obtienen de los residuos del petróleo a temperaturas entre 204 y 316 °C. Una pequeña cantidad de asfalto se craquea a temperaturas alrededor de los 500 °C para fabricar materiales aislantes.

El asfalto natural se utilizaba mucho en la antigüedad (ver Figura 1.2). En Babilonia se empleaba como material de construcción.

En textos antiguos hay muchas referencias a sus propiedades impermeabilizadoras como material para evitar la filtración de agua en los barcos.

Los depósitos naturales de asfalto suelen formarse en pozos o lagos a partir de residuos de petróleo que rezuman hacia la superficie a través de fisuras en la tierra. Entre ellos destacan el lago Asfaltites o mar Muerto, en Palestina; los pozos de alquitrán de La Brea, en Los Ángeles, en los cuales se han encontrado fósiles de flora y fauna prehistóricas; el lago de la Brea, en la isla de Trinidad (ver Figura 1.3), y el lago de Maracaibo en Venezuela. También se aprovechan los depósitos de rocas asfálticas o rocas impregnadas de asfalto. Otro tipo de asfalto de importancia comercial es la gilsonita, que se encuentra en la cuenca del río Uinta, al suroeste de Estados Unidos, y se utiliza en la fabricación de pinturas y lacas.



**Figura 1.3 Lago de la brea en Trinidad y Tobago.**

*Derecho de autor 2016 por Baldur Brückner.*

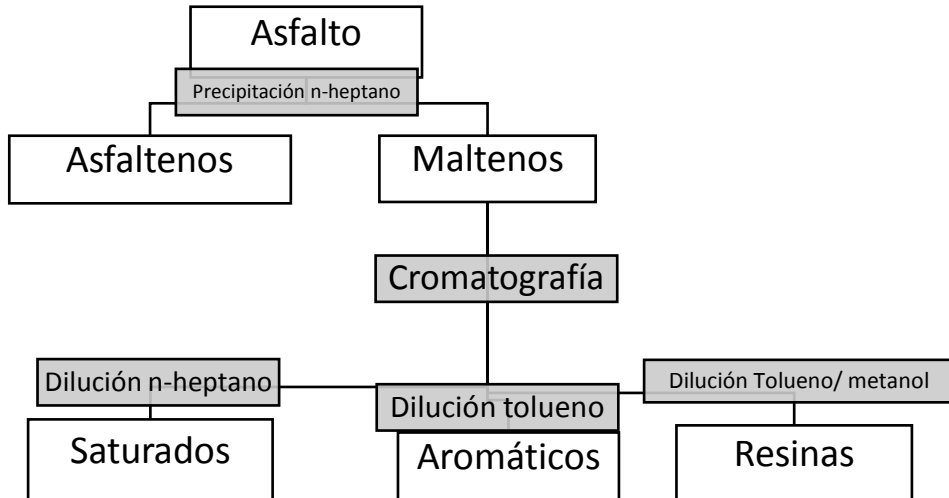
El asfalto es muy utilizado para la pavimentación de carreteras, es un material negro bituminoso que suele obtenerse a partir del petróleo crudo, se aplica uniformemente sobre la superficie de la carretera y se apisona para alizarlo. Los materiales asfálticos se conocen y han sido utilizados en la construcción de caminos y edificios desde la antigüedad, los primeros asfaltos eran naturales y se encontraban en estanques y lagos de asfalto; en la actualidad provienen de los residuos del petróleo refinado. El asfalto que es derivado negro o castaño oscuro del petróleo es diferente del alquitrán, que es el residuo de la destilación destructiva de la hulla. El asfalto consta de hidrocarburos y sus derivados y es completamente soluble en disulfuro de carbono (CS<sub>2</sub>).



Es el residuo del petróleo, después de extraer por refinación o destilación los componentes más volátiles; Se le conoce con el nombre popular de chapopote.

El asfalto es de naturaleza coloidal, los componentes de más alto peso molecular constituyen la fase dispersa (micelas) y los componentes de bajo peso molecular constituyen la fase continua (intermicelar). Los asfaltenos constituyen la fracción del asfalto que permanece disuelto cuando se precipitan los asfaltos en la solución disolvente.

En el asfalto no diluido, los maltenos forman un aceite viscoso de color castaño oscuro. Los porcentajes de asfaltenos y maltenos presentes en el asfalto se pueden determinar en un disolvente dado y se deben definir en términos de ese disolvente a fin de que tengan sentido. Si el disolvente fuera por ejemplo n-heptano observaríamos la derivación del asfalto en función de asfaltenos y maltenos de acuerdo con la siguiente figura.



**Figura 1.4 Estructura química de los asfaltos.**

*Fuente: Página web Repsol.*

Además de los sitios mencionados anteriormente, se encuentra en estado natural formando una mezcla compleja de hidrocarburos sólidos en lagunas de algunas

cuencas petroleras, como sucede en el lago de asfalto de Guanoco que es el lago de asfalto más extenso del mundo (Estado Sucre, Venezuela), con 4 km<sup>2</sup> de extensión y 75 millones de barriles de asfalto natural. Le sigue en extensión e importancia el lago de asfalto de La Brea en la isla de Trinidad y Tobago.

A pesar de la fácil explotación y excelente calidad del asfalto natural, no suele explotarse desde hace mucho tiempo ya que al obtenerse en las refinerías petroleras como subproducto sólido en el craqueo o fragmentación que se produce en las torres de destilación, resulta mucho más económica su obtención de este modo. Sucede algo parecido con la obtención del gas, que también resulta un subproducto casi indeseable en el proceso de obtención de gasolina y otros derivados del petróleo.

### **1.1.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS.**

Las mezclas asfálticas o también conocidas como agregado asfáltico, consiste en un agregado de asfalto y materiales minerales (mezcla de varios tamaños de áridos y finos) que se mezclan juntos, se extienden en capas y se compactan. Debido a sus propiedades es el material más común en los proyectos de construcción para firmes de carreteras, aeropuertos y aparcamientos. Debido a sus buenas propiedades como impermeabilizante también se usa en el núcleo de ciertas presas como impermeabilizante.

Los términos más utilizados, además de mezclas asfálticas o agregado asfáltico son: "hormigón asfáltico", "cemento asfáltico bituminoso" y sus abreviaciones "AC" (del inglés asphalt concrete); estos generalmente usados sólo en ingeniería y en documentos de construcción y literatura. El término más común es "asfalto", que además por defecto tiende a incluir a los pavimentos de hormigón de cemento, aunque en realidad éstos no estén compuestos realmente de asfalto. La definición ingenieril de hormigón incluye cualquier material compuesto por un agregado

cementado con un aglutinante, que puede ser cemento Portland, pero que en el caso que nos ocupa es asfalto.

Informalmente el hormigón asfáltico es conocido en Norteamérica como "blacktop" (en referencia a su superficie negra).

Las mezclas asfálticas tienen que cumplir los siguientes criterios para ser utilizables en firmes:

- a. Resistentes a las cargas del tráfico (tanto a la abrasión, como al asentamiento vertical, como al despegue por los neumáticos).
- b. Impermeable, ya que si el agua penetra por debajo del firme se filtrará al cimiento de la carretera, desestabilizándolo.
- c. Debe poderse trabajar con facilidad y su puesta en obra factible.

Las mezclas asfálticas pueden llevarse a cabo de la siguiente forma:

- a) Mezcla asfáltica en caliente: Son producidas por el calentamiento del aglutinante asfáltico, lo que disminuye su viscosidad y permite mezclar el material con el agregado de áridos. La mezcla se realiza a 150 °C para el asfalto puro, y a 160 °C si el asfalto está modificado con polímeros. La extensión y el compactado tienen que realizarse mientras el material está caliente; En muchos países el asfalto se restringe a los meses de calor porque en invierno la base compactada puede estar demasiado fría para realizar la operación. Es el material más empleado en carreteras, autopistas, aeropuertos y pistas de carreras (ver Figura 1.5).



**Figura 1.5 Mezcla asfáltica en caliente.**

*Fuente: Página web Fondo de conservación vial.*

- b) Superpave: Con su abreviatura "*performing asphalt pavement*", del inglés se traduciría como Pavimento de altas prestaciones. Es un pavimento diseñado para proporcionar tiempos de vida útil más largos que los pavimentos habituales. Las claves son un sistema cuidadoso de selección de ingredientes y una gran calidad de los materiales y del control de obra.
- c) Mezcla asfáltica templada: Se produce por la adición de zeolita, ceras o emulsiones asfálticas para realizar la mezcla. Esto permite bajar significativamente la temperatura de mezcla y extendido y disminuir el consumo de combustibles fósiles, además de disminuir la emisión de dióxido de carbono, aerosoles y vapores; También permite reducir el tiempo de construcción y ciertos aditivos facilitan sus características en la puesta.
- d) Mezcla asfáltica en frío: Se aplican en pequeñas reparaciones con materiales capaces de alcanzar resistencias a temperatura ambiente.
- e) Mezcla asfáltica cut-back: Se produce disolviendo el aglutinante en queroseno u otro líquido que disminuya la fricción de los componentes y permita la mezcla. Se usa para pequeñas reparaciones, cuando no resulta rentable usar maquinaria a gran escala y calentar mezclas. Debido al uso del queroseno es muy contaminante.
- f) Mezcla asfáltica mástico: Conocida también como capa asfáltica se produce mediante el calentamiento del material y su oxidación en un mezclador hasta que se licúa y se puede agregar el árido. El agregado tiene entre 6 y 8 horas para ser puesto. Una vez transportado en la obra donde se vierte hasta realizar una capa fina de 2 a 3 centímetros, y también para impermeabilización de techos con una capa de 1 centímetro.
- g) Mezcla asfáltica natural: Puede ser producido de rocas bituminosas, de lugares muy puntuales del mundo, donde la roca sedimentaria ha sido impregnada de betún natural.

El hormigón asfáltico o mezcla asfáltica tiene diferentes prestaciones en términos de durabilidad de superficie, soporte de neumático, eficiencia de frenado y disminución de ruido. Las características necesarias del asfalto se obtienen en función de la categoría de tráfico y el coeficiente de fricción deseado. En términos generales el hormigón asfáltico genera menos ruido que el proveniente del cemento portland. El deterioro del asfalto puede incluir piel de cocodrilo, baches, roderas, desconchones y hundimientos. En climas fríos el agua superficial puede congelarse en las grietas y en los huecos del asfalto, presionando el firme y rompiéndolo. En los climas cálidos la mezcla puede calentarse, fluyendo y generando huellas de neumáticos (roderas) y baches.

Hay dos grupos de factores que pueden destruir el asfalto:

- I. Factores ambientales. Donde se incluye el calor, el frío, el agua y la radiación solar (incluyendo la ultravioleta) que degradan el material de forma mecánica o química.
- II. Daño producido por el tráfico. El daño producido por el peso y el paso de autobuses y camiones, que genera fatiga en el material.

También puede haber accidentes puntuales por vertido de agentes químicos (especialmente aceites) o quemaduras encima del asfalto que lo alteran.

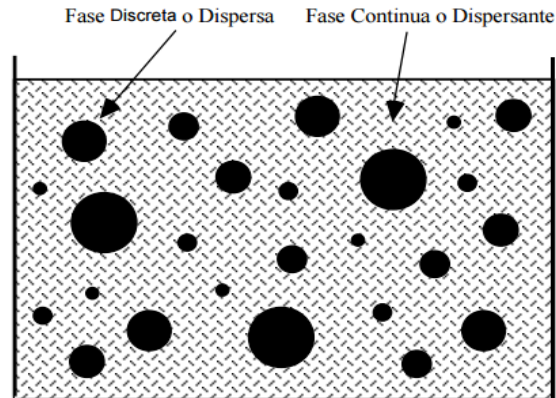
La vida de una carretera puede ser prolongada mediante un buen diseño y llevando a cabo buenas prácticas de mantenimiento y construcción. Durante el diseño los ingenieros miden el tráfico en la carretera, poniendo especial atención en el volumen y tipo de vehículos pesados (camiones, autobuses, entre otros); Esto permite estimar la carga que soportará la carretera en el futuro, tanto el pavimento como el grosor de la sub-base están diseñados para soportar las cargas de ruedas, algunas veces se usan para reforzar la sub-base ciertos drenajes internos para liberar el agua que debilitaría las capas internas del firme.

Buenas prácticas de mantenimiento se centran en mantener el agua fuera del pavimento, la sub-base y el terraplén, manteniendo las cunetas limpias y los drenajes operativos se puede extender la vida de una carretera sin necesidad de un sobre coste. Las pequeñas roturas por donde puede entrar el agua deberían ser reparadas con rapidez para evitar que conlleven una rotura mayor que destruya la vía, si el número de roturas se incrementa se requerirán reparaciones a mayor escala.

En orden de menor a mayor coste, se incluyen parches de asfalto, capas de firme superiores, reciclaje en el sitio o levantamiento y reconstrucción total es mucho más barato mantener una carretera en buenas condiciones que tener que reconstruirla entera una vez que se haya deteriorado; esta es la razón por la cual muchas agencias estatales estadounidenses prefieren gastar recursos en mantener las vías en buenas condiciones que reconstruir aquellas que estén en peores condiciones.

### **1.1.3 EMULSIONES ASFÁLTICAS.**

Podemos definir una emulsión como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta o dispersa (ver Figura 1.6).



**Figura 1.6 Diagrama esquemático de una emulsión.**

*Fuente: Documento técnico N° 23, Instituto Mexicano del transporte.*

Generalmente el tamaño de la fase discreta tiene alguna dimensión lineal entre 1 nanómetro y 1 micra. Son estos tamaños tan pequeños los que le dan a las emulsiones sus importantes e interesantes propiedades. La ciencia que trata con las emulsiones es multidisciplinaria, ya que involucra física, química, biología, entre otras.

Lo importante de las emulsiones no es la composición química de la muestra (ya sea orgánica o inorgánica), ni su origen (mineral o biológico), ni su estado físico (una fase o más); es su tamaño la característica importante. Consecuentemente, se puede afirmar que a la ciencia de las emulsiones le interesan las moléculas grandes y los sistemas macroscópicos subdivididos muy finamente, ya sea mono o multifásicos.

Las emulsiones asfálticas son micro dispersiones de cemento asfáltico en agua, más un agente emulsificador el cual actúa como estabilizador del sistema, otorgándole además una polaridad. Las emulsiones asfálticas se desarrollan con el objetivo de cambiar la consistencia del asfalto y darle así un manejo adecuado para cada tipo de aplicación, sin la necesidad de calentarlo hasta altas temperaturas como es usual en mezclas tradicionales con cemento asfáltico. Las principales ventajas que caracterizan el uso de emulsiones asfálticas es la considerable

reducción de costos para la construcción y conservación de caminos, ya que el adecuado manejo que presentan a temperaturas menores permite un ahorro energético considerable, esto sumado a que las aplicaciones con emulsiones son de espesores mucho menores que los utilizados en mezclas tradicionales, permitiendo ahorro en el uso de material y tiempos de construcción.

De acuerdo con el tipo y la cantidad del agente emulsificador empleado, las emulsiones se clasifican en función de su tiempo de quiebre en:

- a. Emulsiones de Quiebre Rápido (CRS).
- b. Emulsiones de Quiebre Lento (CSS).
- c. Emulsiones de Quiebre Controlado (CQS).
- d. Emulsiones de Quiebre Medio (CMS).

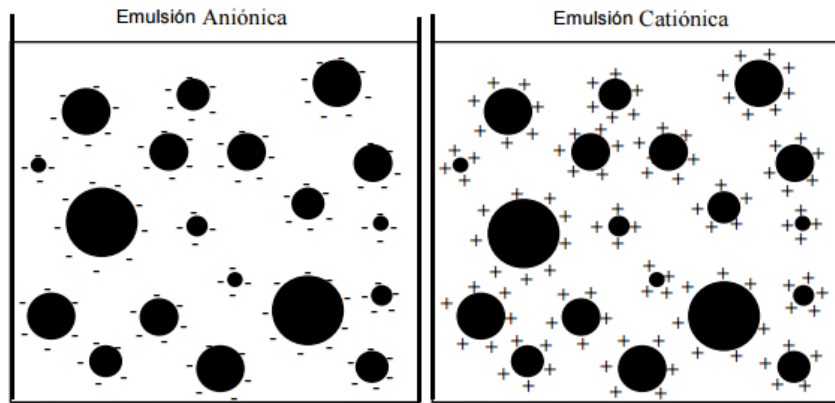
Las emulsiones de quiebre rápido (CRS) se utilizan normalmente en sellos y tratamientos superficiales. Las de quiebre lento (CSS) se utilizan para riegos de liga, riegos neblina (Fog Seal) y lechadas asfálticas (slurry seals). Las de quiebre controlado (CQS) se utilizan en lechadas asfálticas y micro aglomerados en frío (en este último caso deben ser emulsiones de quiebre controlado modificadas con polímeros). La emulsión asfáltica a utilizar debe mezclar con el agregado a utilizar sin romper hasta que se efectúe la compactación; La mezcla final debe presentarse manejable con el tiempo suficiente para su aplicación.

Respecto a los emulsificantes, estos son compuestos orgánicos de peso molecular relativamente elevado (entre 100 y 300), tienen una parte hidrofóbica (generalmente es una cadena hidrocarbonada ya sea lineal o cíclica) que es soluble en el medio orgánico (en nuestro caso en el asfalto) y una parte hidrofílica (generalmente es un grupo polar de tipo orgánico o inorgánico), soluble en el medio acuoso. Los emulsificantes están compuestos generalmente por un radical alquilo R el cual es hidrofóbico y un componente hidrofílico que se encuentran saponificados y al



contacto con el agua se disocian, quedando con cargas negativas o positivas según el tipo de emulsificante.

En la siguiente figura se muestra una representación de la emulsión aniónica y la catiónica.



**Figura 1.7 Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica.**  
*Fuente: Documento técnico N° 23, Instituto Mexicano del transporte.*

Existen dos procesos diferentes mediante los cuales se agregan las partículas en la emulsión: la floculación o coagulación y la coalescencia.

- I. Floculación o Coagulación: Proceso mediante el cual dos partículas se unen para formar partículas más grandes. En este proceso no se pierde la identidad de las partículas originales, en este caso no hay reducción en el área superficial total, solamente se imposibilitan algunos sitios activos.
- II. Coalescencia: Proceso mediante el cual dos o más partículas se funden para formar una partícula más grande. En este caso, el área superficial total es reducida; En este proceso si se pierde la identidad de las partículas originales.

En una emulsión asfáltica, los líquidos no miscibles son el agua y el asfalto. Adicionalmente se tiene el emulgente el cual se deposita en la interface entre el agua y el asfalto y estabiliza la emulsión; éste depende del tipo de emulsión que se requiera.

## 1.2 INDUSTRIA ASFÁLTICA EN EL SALVADOR.

En El Salvador, la empresa que más destaca en la elaboración de asfaltos y diferentes mezclas de agregados pétreos es Asfalca de S.A. de C.V. En el siguiente apartado se detalla los antecedentes de la industria asfáltica en general hasta la actualidad, así también la importancia de inversión y demanda en el país.

### 1.2.1 ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA ASFALTICA.

En la definición de asfalto se hace mención del uso en la antigüedad de este para la construcción, el primer uso registrado de asfalto como material de construcción de carreteras fue en Babilonia alrededor de 615 aC, en el reinado del rey Nabopolassar (National Asphalt Pavement Association [NAPA],, s.f.), además se tiene conocimiento que los antiguos griegos estaban familiarizados en cierta forma con el asfalto y sus propiedades, de hecho, la palabra asfalto viene del griego *ἀσφαλτος* (*asphaltos*) y muchos siglos después los europeos que exploraban e invadían el Nuevo Mundo descubrieron yacimientos naturales de asfalto.

Las primeras mezclas asfálticas en sus primeras etapas de formulación aparecen en América en los últimos años de 1860's, estas eran utilizadas principalmente para las



**Figura 1.8 Carreteras asfaltadas en américa.**

*Fuente: Página web National Asphalt Pavement Association*

aceras y los pasos peatonales en los Estados Unidos de América (ver Figura 1.8).

Hasta cerca de los años 1900, el uso de asfalto en su totalidad procedía de fuentes naturales; Los asfaltos refinados de petróleo que se usaban al principio como aditivo para ablandar el asfalto natural, tomaron relevancia y aproximadamente en el año 1907, la producción de asfalto refinado había superado el predominante uso del asfalto natural. La creciente popularidad del automóvil, demandaba una mejora en

la construcción de caminos y carreteras, en la búsqueda de ello aparecen las primeras unidades de producción de Mezcla Asfáltica en Caliente (HMA por sus siglas en inglés) que consistían principalmente en bandejas de hierro poco profundas calentadas sobre fuegos de carbón abiertos; El operario secaba el agregado sobre la bandeja, vertía asfalto caliente encima y agitaba la mezcla a mano, la calidad de la mezcla dependía principalmente de la pericia y experiencia del operario, los primeros mezcladores mecánicos se utilizaron en París en 1854.

En El Salvador las carreteras surgen a partir de fundada la Villa de San Salvador que data del año 1582, en esta época las calles que conectaban y comunicaban diferentes poblados eran de tierra, y las principales conexiones reforzadas de piedra.

Los trabajos de pavimentación en la red vial de San Salvador comenzaron en 1912 por parte de la firma inglesa S. Pearson & Sons, pero estos fueron interrumpidos debido a la primera guerra mundial y a la falta de fondos. (Escalante, Garay, Herrera, 2014, p.5).

Al igual que en el resto de los países de la región, la creciente influencia de los automotores obliga a la mejora en la construcción de caminos y en el año de 1916 se construye la que se considera la primera carreta del país enlazando San Salvador con el Puerto de La Libertad.

En la década de 1920 se asfaltan las principales calles de San Salvador (Ministerio de Obras públicas 2009), a partir de entonces el crecimiento de la infraestructura vial urbana e interurbana ha ido en aumento en el país hasta la década de los 80's cuando por diversas causas y factores de la época la infraestructura vial y el desarrollo de esta disminuyó.

Este rubro se ha desarrollado y mejorado a partir de la década de los noventa, incursionando en nuevas formulaciones e incluso en la innovación y actualización de equipos, destacando el uso de emulsiones asfálticas y mezclas asfálticas en frío que suponen una alternativa a las mezclas asfálticas en caliente para la construcción y mantenimiento de todas las vías de comunicación terrestre.

### **1.2.2 DESARROLLO E IMPORTANCIA DE LA INDUSTRIA ASFALTICA.**

La tendencia a la mejora constante en todas las industrias insta a las mismas a investigar y el desarrollar nuevas metodologías para hacer de ellas una empresa con rentabilidad, es decir con un mayor beneficio y la dimisión del consumo de los recursos, la industria asfáltica no está exenta de ello, de acuerdo con la Asociación Nacional de Asfalto y Pavimento: La tendencia hacia la mejora continua también ha permitido que la industria abrace el reciclaje. (NAPA, s.f.) Este era común a principio del siglo XX, pero esta práctica decae a raíz del aparecimiento y aumento de nuevas refinerías de asfalto, incrementando los suministros y reduciendo los precios, sin embargo, al aparecer la crisis energética de los años setenta, obliga a replantearse la conservación de los recursos, y por tanto a la búsqueda de alternativas que permitan hacer un uso eficiente de los mismos.

En El Salvador unas de las empresas líder no solamente del país sino de la región, contribuye a este desarrollo del rubro, desde la década de los 90; Asfaltos de Centroamérica cuenta con un laboratorio privado de control de calidad, además de un programa de investigación y desarrollo con equipos de última generación. (Asfaltos de Centro América, s.f.)

Sus instalaciones permiten el desarrollo de mezclas asfálticas en frío y polimerizadas, emulsiones asfálticas tradicionales y modificadas, asfaltos modificados y las ya conocidas mezclas de asfalto en caliente (HMA).

Otro ejemplo del desarrollo de este campo en el país es la formación y establecimiento del Instituto Salvadoreño del Asfalto (ISA) en el año 2008, cuyo objetivo principal es el promover e impulsar el buen uso del asfalto en los productos, proceso y servicios relacionados con los asfaltos, impulsando y difundiendo la investigación y desarrollo tecnológico, apoyados en asesoría técnica.

Todas estas instituciones privadas además de muchas otras que se aglomeran en torno a la industria asfáltica nacional están vinculadas principalmente por la importancia que este material y su aplicación representan para El Salvador.

Hasta el año 2016 el presidente del ISA, Carlos Mata Trigueros, señaló que el 88% de las carreteras del país están hechas de asfalto. (Linares, 2016), lo que impulsa constantemente al crecimiento de esta rama industrial.

Para el año 2008 la red vial nacional estaba constituida por 5,769.24 km. de vías pavimentadas y no pavimentadas, de estas el 54.45% lo constituían la red vial prioritaria no pavimentada y el 45.5% lo formaban la red vial prioritaria pavimentada (Guevara, Méndez; Pimentel, 2010, p.34)



**Figura 1.9 MOP y FOVIAL finalizan plan de invierno.**

*Fuente: Página web Ministerio de Obras Públicas.*

Al año 2015 la red vial pavimentada y no pavimentada se ve incrementada de acuerdo con el Ministerio de Obras Públicas (MOP) hasta el valor de 6,982 km; lo que indica un incremento de aproximadamente 1,200 km de red vial.

Al considerar que este incremento de la red de comunicación vial en el país no infiere grandemente en los porcentajes que relacionan aquellas vías pavimentadas o no; se está ante la realidad de una nación con una de las infraestructuras viales destacables de la región.

El desarrollo e incremento de planes en materia de mantenimiento y rescate de las vías de comunicación destaca la importancia de la industria asfáltica en el país y la necesidad constante de desarrollo por parte de esta.

En el año 2011 sobresale la publicación de la ampliación de la carretera Panamericana por un monto de \$100 millones (La Prensa Gráfica, 2011); No solamente son el mantenimiento y mejora de carreteras, calles o caminos los que requieren de la industria asfáltica, sino también otras entidades en las que este material y su aplicación se vuelven importantes, por ejemplo para marzo del año 2013, la Comisión Ejecutiva Portuaria Autónoma (CEPA) sacó a licitación la pavimentación de la pista de aterrizaje y otras áreas del aeropuerto de Comalapa, que junto con otros proyectos insumirían alrededor de \$38 millones en inversión.(CEPA, 2013)

De acuerdo con una publicación en el portal Enegocios, la industria del asfalto en El Salvador moviliza cerca de \$160 millones anuales. (Enegocios, 2016). En ella el representante de la Cámara Salvadoreña de la Industria de La Construcción, explica que la falta de estadística no permite tener una cifra específica, pero, sin embargo, en un cálculo aproximado se suman alrededor de \$100 millones ejecutados hasta esa fecha por el Fondo de Conservación Vial (FOVIAL) y más de \$40 millones por parte del MOP (ver Figura 1.9), además de \$20 millones como inversiones de las distintas alcaldías.

En la rendición de cuentas presentadas por el Ministerio de Obras Públicas en el periodo 2015-2016, se destaca la construcción de nuevas carreteras y caminos rurales. Se construyeron 273 kilómetros, de los cuales 149.5 son nuevos y 123.51 fueron rehabilitados, se incluye el rescate de cerca de 40.7 kilómetros con material reciclado y 82.38 construidos en apoyo a municipalidades, lo que representó una inversión MOP de \$1.5 millones y \$0.9 millones aportados por las municipalidades.

Al considerar todas estas inversiones que a lo largo de los años se realizan teniendo como insumo principal el asfalto, se hace evidente su preponderancia en el mercado nacional y su natural importancia para el avance y desarrollo nacional.

Como se destaca al principio de esta sección el desarrollo por parte de todas las industrias dentro de este rubro está íntimamente relacionado con la importancia que el mismo representa para el país, tanto es así que se puede considerar al mismo como líder en asfalto modificado.

Existen grandes retos aun que enfrentar en la carrera del desarrollo de esta industria sin embargo el país ha logrado grandes avances en áreas como la transferencia tecnológica, por ejemplo, los usos de asfaltos modificados para las capas de rodadura son muy comunes en el país.

El MOP destacó en el año 2016 que se han utilizado estas nuevas mezclas asfálticas cerca de 890 km en carretera (Linares, 2016). Por ello en la región se puede afirmar que el país es uno de los mayores productores en esta área de asfalto modificado.

### **1.2.3 DEMANDA: EXPORTACIONES E IMPORTACIONES DE ASFALTO EN EL SALVADOR.**

En el apartado anterior se destacó la importancia que la industria asfáltica tiene en el país, y que de la mano de las constantes inversiones en ella contribuyen al desarrollo del país, sin embargo, para que todo esto sea consecuente es preciso el insumo principal como lo es el asfalto, derivado del petróleo como actualmente se obtiene en su mayoría.

En los años de 1999 a 2000 en El Salvador el sistema de refinado de crudo y producción de combustible estaba formado por la refinería petrolera de Acajutla, S.A. RASA; la refinería contaba con una unidad de destilación al vacío (vacuum) utilizada principalmente para la producción de asfaltos, esta tenía una capacidad nominal de 2,000 barriles por día.

Para esa época la obtención de la mayor parte del asfalto utilizado en la industria provenía del refinamiento del crudo, como lo muestra la tabla 1.1.



**Tabla 1.1 Importación de productos derivados del petróleo año 2000 (Volumen en barriles).**

*Fuente: Repositorio Institucional UFG*

Productos	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>ESP. 95/97 OCTS.</b>	128,378	86,222	119,964	59,972	84,973	104,271	111,430	100,418	65,919	61,578	64,973	65,223	1,053,321
<b>REG 90 OCTS</b>	41,670	35,117	135,374	94	65,260	69,171	69,995	54,522	62,413	25,790	67,675	116,833	743,914
<b>KERO/TURBO</b>	24,847	37,813	13,825	38,019	63,841	34,688	39,931	26,248	19,870	37,092	36,711	9,873	382,758
<b>DIESEL</b>	258,255	347,037	346,443	241,843	332,204	325,486	354,322	282,245	335,218	186,130	231,836	298,751	3,539,770
<b>FUEL OIL</b>	110,149	77,569	161,692	142,481	108,628	59,021	39,631	99,563	213,360	126,790	100,285	125,290	1,364,459
<b>GAS LICUADO</b>	115,254	119,617	136,945	93,720	114,346	148,869	160,079	64,191	153,972	145,058	84,986	150,852	1,487,889
<b>ASFALTOS</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	678,553	703,375	914,243	576,129	769,252	741,506	775,388	627,187	850,752	582,438	586,466	766,822	8,572,111

De acuerdo con la tabla para ese año la importación de asfaltos en el país era nula. Como un preámbulo de la futura situación en el país en el portal de CentralAmericaData, se hace mención de la noticia donde se destacaba que la empresa Alba Petróleos en El Salvador importaría asfalto venezolano, desde la ciudad de Maracaibo (2011).

Consecuentemente a este anuncio desde septiembre de 2012, el país dejó de importar petróleo crudo para refinarlo en RASA, antes de esa fecha la importación del mismo mensualmente era de \$51 millones en promedio (Portillo M, 2013), a partir de la fecha mencionada la refinería deja de funcionar y todos los productos derivados del petróleo son importados en su totalidad.

En el informe de comercio exterior dada por el Banco Central de Reserva (BCR) de enero a noviembre de 2015, las importaciones de bienes sumaron un total de \$ 9,602.6 millones al mes de noviembre con una disminución de \$80.8 millones en comparación con el mismo periodo del año anterior. No obstante, los volúmenes se incrementaron en un 12.8%.

En concreto los productos derivados de petróleo para ese periodo disminuyeron en \$324.5 millones, en valor de importación, pero este dato incluye todos los derivados incluyendo aquel que es de interés para la investigación ya que como se mencionó con anterioridad desde el 2012 a la fecha todos los productos en este sector del mercado son importados.

Para poder reflejar datos más concretos del asfalto importado al país se presentan la tabla 1.2, que muestra el consumo local anual de productos derivados de petróleo reportados por las compañías al año 2016, de todos los sectores solamente se han reportado y recalado aquellos en los que está involucrado el rubro de interés.

**Tabla 1.2 Consumo local anual de productos derivados del petróleo reportados por compañías año 2016 (Volumen en galones).**

*Fuente: Dirección de Hidrocarburos y Minas República de El Salvador.*

<b>SECTOR</b>	<b>ALBA</b>	<b>CHEVRON</b>	<b>PUMA</b>	<b>UNO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Consumidores Industriales</b>	<b>1,479,959.00</b>	<b>7,954,637.00</b>	<b>49,876,770.00</b>	<b>7,975,377.00</b>	<b>67,286,743.00</b>
Aceite Combustible Diesel	200,000.00	6,884,637.00	4,301,059.00	2,488,497.00	<b>13,874,193.00</b>
Aceite Combustible No.6 (Bunker C)		1,005,000.00	44,606,458.00	2,502,221.00	<b>48,113,679.00</b>
Aglutinantes Asfálticos				825,111.00	<b>825,111.00</b>
Cementos Asfálticos	1,279,959.00		689,756.00	1,292,746.00	<b>3,262,461.00</b>
Gas Licuado de Petróleo (GLP)			209,969.00		<b>209,969.00</b>
Gasolina Regular		29,500.00	45,000.00	172,000.00	<b>246,500.00</b>
Gasolina Superior		35,500.00	23,000.00	78,500.00	<b>137,000.00</b>
Kerosene de Aviación (Jet A-1)			1,528.00	557,802.00	<b>559,330.00</b>
Kerosene de Iluminación				58,500.00	<b>58,500.00</b>
<b>Gobierno</b>		<b>66,000.00</b>	<b>37,667.00</b>	<b>279,138.00</b>	<b>382,805.00</b>
Aceite Combustible Diesel		21,000.00			<b>21,000.00</b>

Continua.

**Tabla 1.2 Consumo local anual de productos derivados del petróleo reportados por compañías año 2016 [Volumen en galones] (Continuación).**

*Fuente: Dirección de Hidrocarburos y Minas República de El Salvador.*

<b>SECTOR</b>	<b>ALBA</b>	<b>CHEVRON</b>	<b>PUMA</b>	<b>UNO</b>	<b>TOTAL</b>
Aglutinantes Asfálticos				118,317.00	<b>118,317.00</b>
Cementos Asfálticos			37,667.00	160,821.00	<b>198,488.00</b>
Gasolina Regular		45,000.00			<b>45,000.00</b>
<b>Otros Clientes</b>	<b>57,077.00</b>		<b>51,911,541.00</b>	<b>8,427,999.00</b>	<b>60,396,617.00</b>
Aceite Combustible Diésel	49,000.00		1,258,579.00	549,500.00	<b>1,857,079.00</b>
Aceite Combustible No.6 (Bunker C)			2,020,000.00	381,000.00	<b>2,401,000.00</b>
Aglutinantes Asfálticos				11,000.00	<b>11,000.00</b>
Asfalto "Cutback" de curado rápido			2,448.00		<b>2,448.00</b>
Cementos Asfálticos	4,077.00		765,696.00		<b>769,773.00</b>
Gas Licuado de Petróleo (GLP)			15,639.00		<b>15,639.00</b>
Gasolina de Aviación (AvGas)			110,000.00		<b>110,000.00</b>

Continua.

**Tabla 1.2 Consumo local anual de productos derivados del petróleo reportados por compañías año 2016 [Volumen en galones] (Continuación).**

*Fuente: Dirección de Hidrocarburos y Minas República de El Salvador.*

SECTOR	ALBA	CHEVRON	PUMA	UNO	TOTAL
Gasolina Regular	4,000.00		562,604.00	62,000.00	<b>628,604.00</b>
Gasolina Superior			757,385.00		<b>757,385.00</b>
Ion Diesel			46,458.00		<b>46,458.00</b>
Kerosene de Aviación (Jet A-1)			46,356,732.00	7,424,499.00	<b>53,781,231.00</b>
Kerosene de Iluminación			16,000.00		<b>16,000.00</b>

De acuerdo con lo antes planteado se presenta la tabla 1.3, que resume la totalidad del asfalto importado al país y el costo aproximado que supone dicha importación, tomando como base el precio por galón del asfalto que es de \$3.37 según el cuadro de precios promedios de elementos representativos puestos en el área metropolitana de San Salvador al final del año 2016.

**Tabla 1.3 Consumo total de Asfalto reportados por compañías año 2016 y su respectivo costo (Volumen galones y costo total en dólares).**

*Fuente: Dirección de Hidrocarburos y Minas República de El Salvador.*

SECTOR	VOLUMEN TOTAL	COSTO TOTAL
<b>Consumidores Industriales</b>	3,262,461.00	10,994,493.57
<b>Gobierno</b>	198,488.00	668,904.56
<b>Otros Clientes</b>	2,448.00 (Asfalto Cutback)	8,249.76
<b>Otros Clientes</b>	769,773.00 (Cemento Asfáltico)	2,594,135.01
<b>MONTO TOTAL</b>		<b>\$14,265,782.90</b>

En resumen, el costo aproximado que representa la importación del asfalto para el país asciende a un valor aproximado de más de \$14 millones de dólares, sin embargo, esto no refleja realmente todos los costos que implica para la industria la fabricación de las mezclas asfálticas de cualquier tipo, simplemente destaca el valor de uno de los insumos principales y fundamentales.

Para el caso de las exportaciones de este rubro no se cuenta con información para el país.

### **1.3 ENSAYOS PARA EMULSIONES Y MEZCLAS ASFÁLTICAS.**

En El Salvador se cuenta con un laboratorio equipado especialmente para realizar pruebas y ensayos a asfaltos y otras mezclas, dicho laboratorio se encuentra en la Planta de Emulsiones Asfálticas y Asfaltos Modificados (ASFALCA), abierto desde 1994 con el objetivo de brindar soporte técnico y certificar la calidad del proceso de producción dentro de la planta. El laboratorio además de dar soporte para Control de Calidad y de Investigación y Desarrollo de la planta; también brinda sus servicios a plantas externas y otras empresas. Su objetivo principal es realizar ensayos, control de calidad y diseños; A la fecha dicho laboratorio es el mejor equipado de El Salvador y uno de los más importantes en toda la Región Centroamericana.

#### Mezclas asfálticas.

En El Salvador se ofrecen las siguientes pruebas para mezclas asfálticas (ver Tabla 1.4).

**Tabla 1.4 Ensayos para mezclas asfálticas.**

*Fuente: Página web ASFALCA S.A. de C.V.*

<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>
Efecto del agua sobre la fuerza de compresión de mezclas bituminosas compactas	ASTM D1075

Continua.

**Tabla 1.4 Ensayos para mezclas asfálticas (Continuación).**

*Fuente: Página web ASFALCA S.A. de C.V.*

<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>
Gravedad específica máxima teórica	ASTM D2041
Extracción cuantitativa de bitumen proveniente de pavimentos de mezclas bituminosas	ASTM D2172
Carta de viscosidad – temperatura para asfaltos	ASTM D2493
Gravedad específica Bulk y densidad de mezclas bituminosas compactadas no absorbentes	ASTM D2726
Densidad de concreto bituminoso in situ con densímetro nuclear	ASTM D2950
Porcentaje de vacíos en mezclas bituminosas compactadas densas y abiertas	ASTM D3203
Efecto del agua sobre agregado cubierto de bitumen usando agua hirviendo	ASTM D3625
Extracción de núcleos de pavimento	ASTM D5361
Análisis mecánico del tamaño del agregado extractado	ASTM D5444
Resistencia al flujo plástico de mezclas bituminosas utilizando el aparato Marshall	ASTM D1559
Efecto del agua sobre las mezclas bituminosas	ASTM D4846

## Emulsiones asfálticas.

Las pruebas realizadas para control de calidad de las emulsiones son presentadas en la siguiente tabla:

**Tabla 1.5 Ensayos para emulsiones asfálticas.**

*Fuente: Página web ASFALCA S.A. de C.V.*

<b>Ensayo</b>	<b>NORMA</b>
Residuo por destilación y aceite destilado	ASTM D6997
Residuo por evaporación	ASTM D6934
Carga de partícula	ASTM D7402
Viscosidad Saybolt Furol	ASTM D7496
Demulsibilidad	ASTM D6930
Asentamiento	ASTM D6930
Prueba del Tamiz	ASTM D6933

### **1.4 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA EMULSION ASFALTICA Y MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO.**

La mezcla asfáltica es uno de los productos que desde épocas pasadas se emplea en la construcción de calles, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación vial, facilitando la circulación de los vehículos.

La investigación está enfocada en el desarrollo de dos productos fundamentales, Mezclas Asfálticas en Frío (MAF) y Emulsiones Asfálticas.

El primer producto es la combinación de agregados pétreos de diferente granulometría con aglutinante asfáltico; Estos pétreos adecuadamente graduados por su tamaño y escogidos por las propiedades que les provee su naturaleza forman lo que llamamos, el esqueleto pétreo y se mantienen íntimamente adheridos y cohesionados por las propiedades que posee el aglutinante a quien comúnmente se llama asfalto. El asfalto, cuyo nombre completo es “Cemento asfáltico” tiene

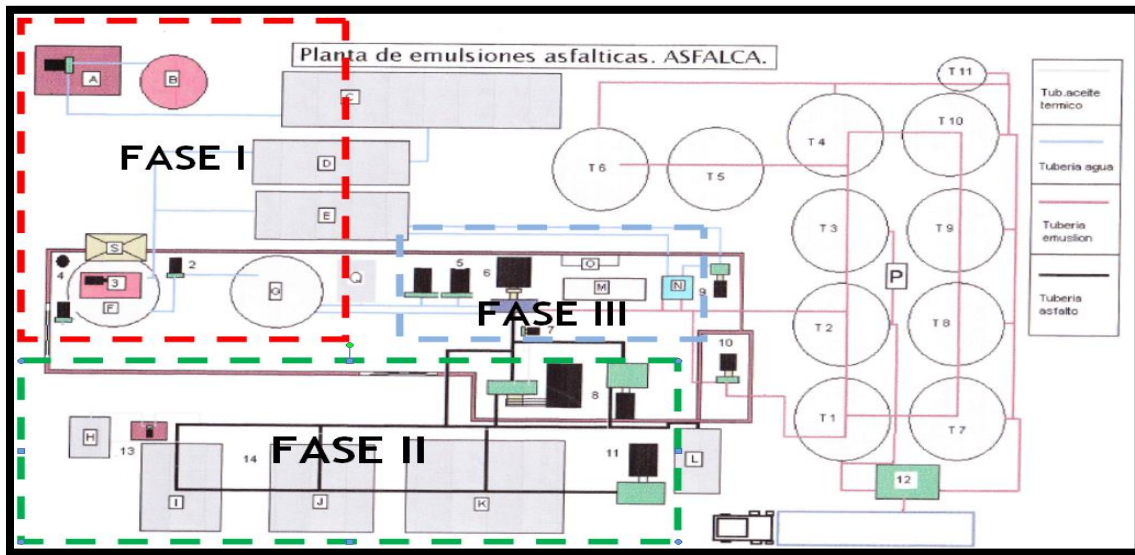


varias presentaciones, y para el caso, es la conocida como asfalto emulsionado o más comúnmente llamado “Emulsión Asfáltica”. Este producto puede ser utilizado para el bacheo de calles secundarias y terciaria del país, carpetas y capas intermedias de refuerzo, el uso de este permite que se reduzca en gran medida el uso de combustibles y otros consumidores de energía que hacen de este un proceso más amigable con el medio ambiente y a su vez tiene ventajas en la seguridad ocupacional de los trabajadores en esta rama. El segundo producto de las emulsiones asfálticas son productos derivados de la mezcla del asfalto calentado, agua caliente y adicionalmente se tiene el emulsificante, el cual se deposita en la interface entre el agua y el asfalto, lo cual sirve para estabilizar la emulsión dependiendo del tipo de emulsión que se requiera.

Los procesos de producción y los equipos involucrados en cada uno de los productos antes descritos se detallan a continuación. Cabe destacar que la información del proceso de producción descrita es referente a la empresa ejemplo en la que se basa la investigación.

#### **1.4.1 EMULSIONES ASFÁLTICAS.**

La fabricación de este producto cuenta con tres fases principales, estas fases representan el principal consumo de energía térmica y eléctrica. Estas etapas definen el proceso de producción de las emulsiones las cuales se describen en el diagrama siguiente (ver Figura 1.10).



**Figura 1.10 Proceso de producción Emulsión Asfáltica.**

*Fuente: ASFALCA S.A. de C.V.*

*Elaboró: Equipo técnico CNPML*

### **Fase 1: Extracción y preparación del agua jabonosa.**

El proceso en esta etapa inicia con la extracción del agua del pozo que tiene la empresa, esta agua es almacenada en un tanque principal de 20,000 galones y luego es distribuida hacia 2 tanques de 3,000 galones c/u; en uno de estos tanques el agua es calentada a través de un quemador de queroseno hasta alcanzar la temperatura de trabajo de 45 °C; el agua caliente es bombeada hacia la Tina de Jabón la cual tiene una capacidad de trabajo de 3,500 galones de agua; es en esta etapa donde se le agregan los emulsificantes al agua caliente. Al lograr la consistencia adecuada la mezcla pasa hacia el tanque de producción de jabón donde se agita hasta alcanzar la consistencia adecuada. Luego de esto la mezcla se encuentra preparada para ser enviada a través de la bomba de agua jabonosa hacia el molino coloidal y lograr mezclarse con el asfalto.

## **Fase 2: Calentamiento de asfalto para la mezcla de emulsiones.**

Para la realización de las emulsiones asfálticas, se calienta el asfalto a una temperatura promedio de 149 °C, esta temperatura se logra a través del uso de quemadores de queroseno instalados en los tanques y por intercambio de calor indirecto; como indicador proporcionado por la empresa se conoce que para el calentamiento de 10,000 galones de asfalto se utilizan 125 galones de queroseno y que es necesario iniciar el proceso de calentamiento del asfalto tres horas antes que inicie el proceso productivo, esto con la finalidad de que el asfalto este totalmente líquido y a la temperatura idónea de trabajo. Por otra parte, para que este fluya adecuadamente la empresa necesita calentar las tuberías a temperaturas óptimas de desempeño, para lo cual utilizan una caldera con aceite térmico el cual es calentado a través de un quemador de queroseno, este se hace fluir a través de tuberías con doble pared, para favorecer el intercambio de calor entre el aceite térmico y el asfalto.

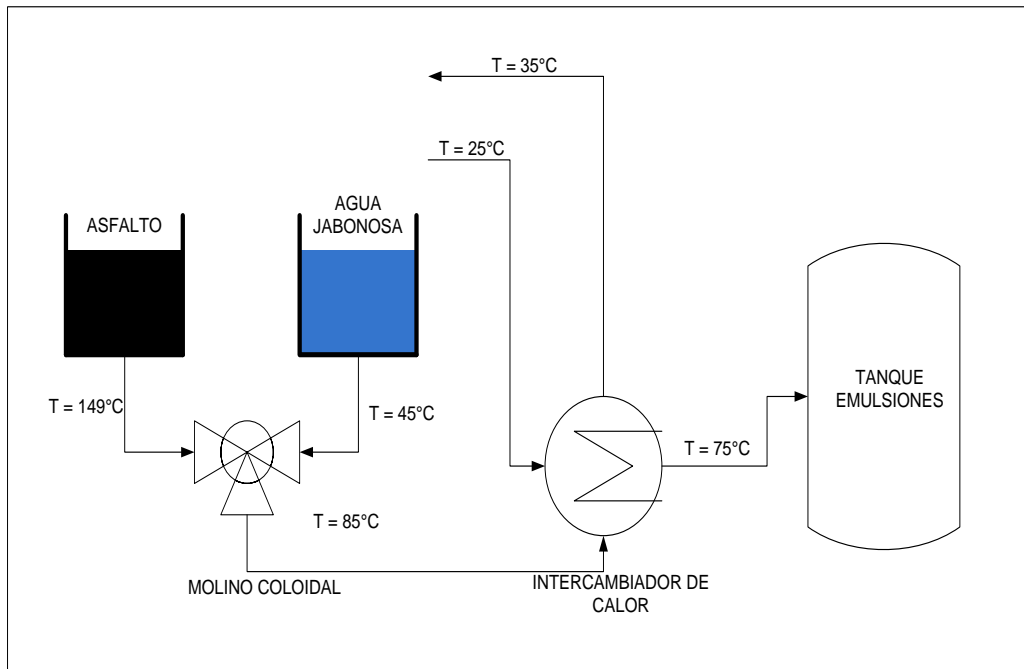
## **Fase 3: Realización de emulsión asfáltica e intercambio de calor.**

Básicamente, una emulsión está constituida por asfalto, agua, un emulsificante, y en algunos casos, según los requerimientos, cierto tipo de aditivos. La mezcla final de estos componentes es por una parte el agua jabonosa junto al emulsificante a 45 °C y por último el asfalto a temperatura 149 °C. La empresa fabrica las emulsiones asfálticas en molinos de coloides (Molino coloidal). El proceso llevado a cabo en estos molinos consiste principalmente en introducir el asfalto caliente al molino, y al mismo tiempo se alimenta con agua emulsionante a una temperatura apropiada; el asfalto caliente asegura una baja viscosidad.

El asfalto y el agua emulsionante, al pasar por el molino coloidal, se someten a intensas tensiones de cizallamiento, lo cual hace que el asfalto se divida en pequeñas gotas dentro del agua, dando lugar a la emulsión, este proceso es llamado como la emulsificación física por ruptura de gotas. Luego de salir del molino coloidal la temperatura de la emulsión formada es en promedio de 85°C. Si la

emulsión no cuenta con polímeros entonces es bombeada a través de un intercambiador de calor con el agua que viene del tanque de almacenamiento para precalentarla y así consumir menos queroseno para lograr la temperatura ideal en el agua. En el intercambio de calor la Mezcla asfáltica pierde en promedio de 7 a 10 °C temperatura que es ganada por el agua.

La emulsión luego del intercambio de calor es bombeada hacia los tanques de almacenamiento en los cuales duran alrededor de 2 a 3 días para tener una temperatura óptima de manejo al momento de venderla. El proceso de producción de forma esquemática se detalla de la siguiente manera (ver Figura 1.11).



**Figura 1.11 Proceso de emulsificación e intercambiador de calor.**

*Fuente: ASFALCA S.A. de C.V.*

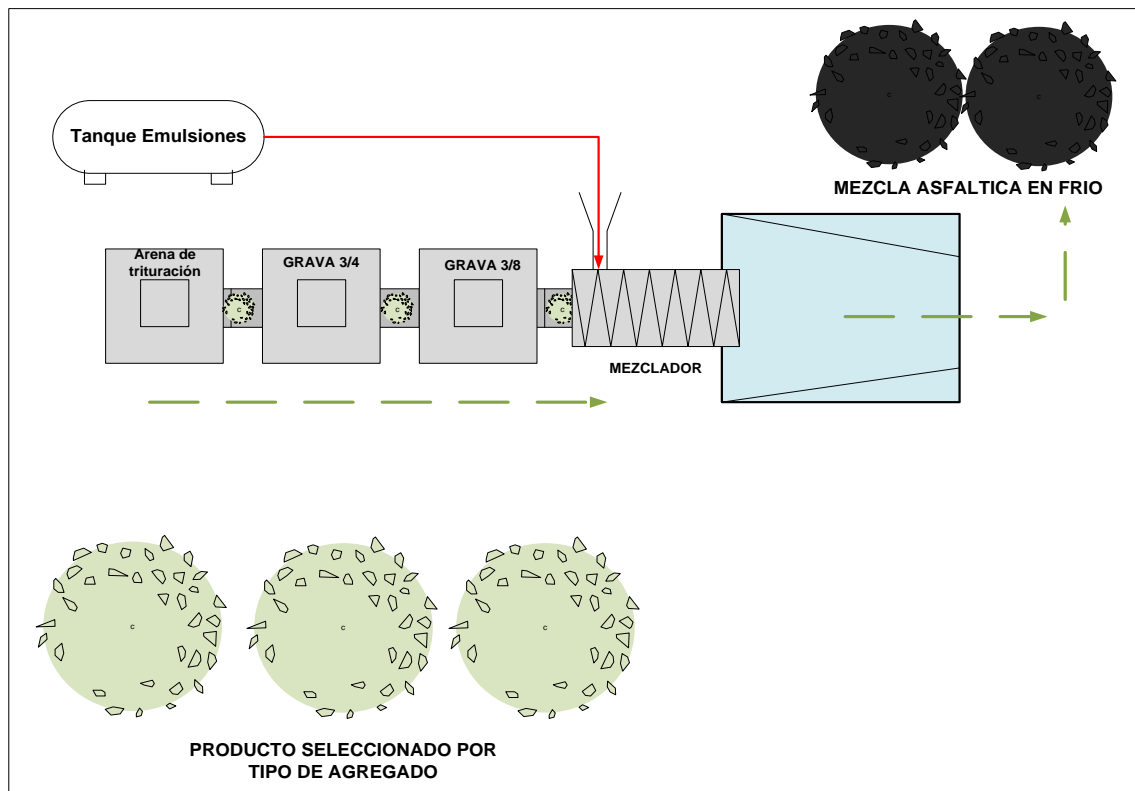
*Elaboró: Equipo técnico CNPML*

#### **1.4.2 MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO.**

La producción de las Mezclas Asfálticas en Frío es la combinación de agregados pétreos de diferente granulometría a temperatura ambiente con aglutinante asfáltico

(Emulsión Asfáltica); el proceso de producción inicia cuando se introducen los agregados pétreos en las tolvas según sea su granulometría (Arena de trituración, Grava  $\frac{3}{4}$  y Grava  $\frac{3}{8}$ ). Cada uno de estos productos es transportado en medidas controlados por una banda transportadora hacia un banco o deposito mezclador donde se agrega la Emulsión Asfáltica, ésta se mezcla con los agregados hasta obtener un producto homogéneo lo cual cumple ser una Mezcla Asfáltica en Frío.

Como indicador de la empresa la producción se realiza a un 40% de la capacidad total instalada lo que significa que se está realizando 1 m<sup>3</sup> por min. La descripción del proceso en forma esquemática se visualiza en la figura 1.12.



**Figura 1.12 Proceso de producción Mezcla Asfáltica en Frío.**

*Fuente: ASFALCA S.A. de C.V.*

*Elaboro: Equipo técnico CNPML*

La Producción de Mezclas Asfálticas en Frío al ser un producto sustituto de la mezcla asfáltica en caliente (la cual es la que más se consume en el país para todos

los requerimientos referentes al bacheo) la empresa ejemplo, únicamente la realiza para el desarrollo de proyectos específicos a diversos consumidores.

### 1.5 CONCEPTOS GENERALES DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.

Una evaluación de impacto ambiental es el proceso sistemático para identificar, predecir y valorar impactos ambientales y proponer las medidas de mitigación o atenuación de las actividades, obras y proyectos antes de su ejecución, de tal forma que permita emitir un juicio sobre su viabilidad ambiental.

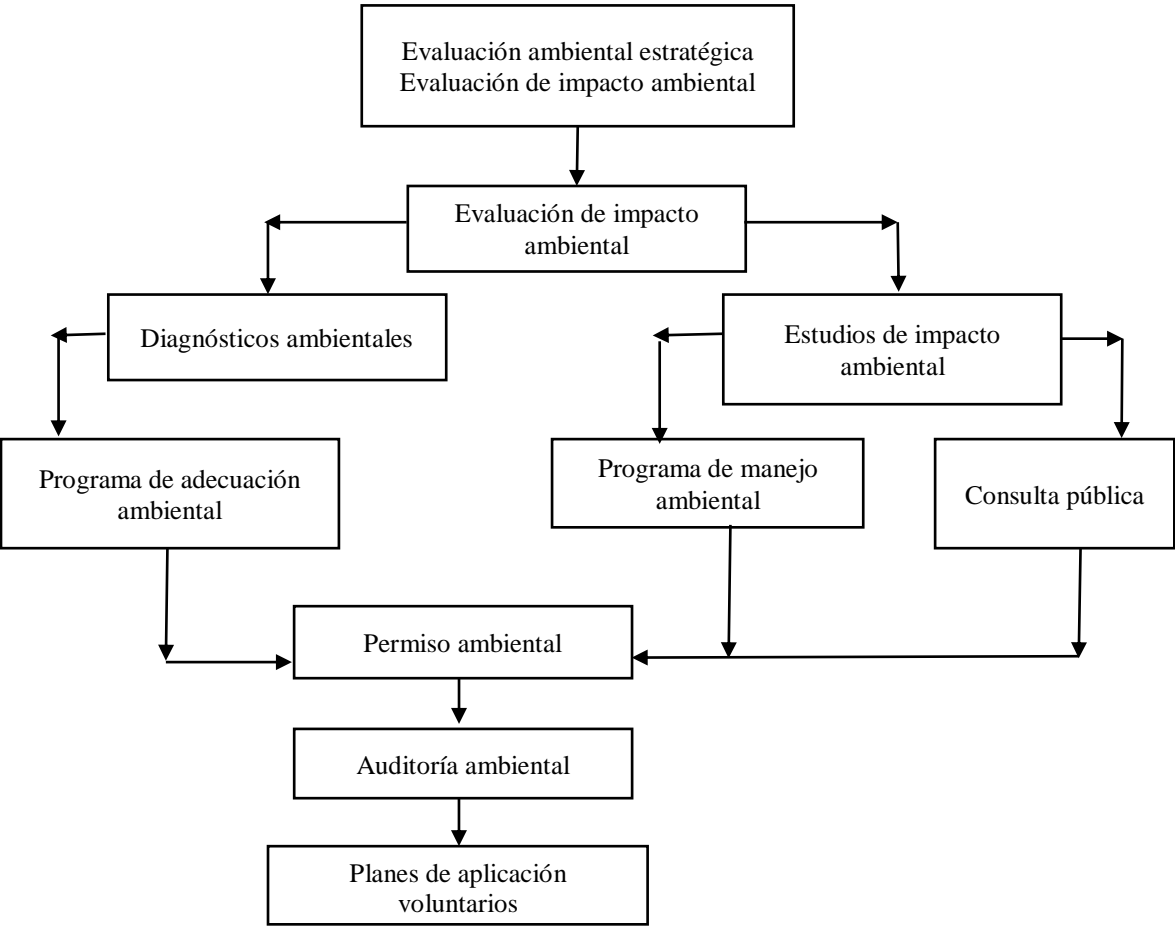


Figura 1.13 Esquema evaluación de impacto ambiental.

Fuente: Elaboración propia.

## VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.

La valoración de impactos ambientales incluye tres funciones principales: identificación, predicción y evaluación.

Cuando se realiza dicha valoración de impactos ambientales se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- a. La variación de la calidad ambiental (CA).
- b. El alcance espacial.
- c. Grado de destrucción o intensidad.
- d. Forma de acción.
- e. Periodicidad.
- f. Interrelación de sus efectos.
- g. Capacidad de recuperación.

## VARIACIÓN DE CALIDAD AMBIENTAL (CA).

- I. **Impacto positivo:** aquel, admitido como tal, tanto por la comunidad técnica y científica como por la población en general, en el contexto de un análisis completo de los costes y beneficios genéricos y de los aspectos externos de la actuación contemplada.
- II. **Impacto negativo:** aquel cuyo efecto se traduce en pérdida de valor natural, estético-cultural, paisajístico, de productividad ecológica o en aumento de los perjuicios derivados de la contaminación, de la erosión o colmatación y demás riesgos ambientales en discordancia con la estructura ecológico-geográfica, el carácter y la personalidad de una zona determinada.

### ALCANCE ESPACIAL.

- I. **Puntuales:** Sus efectos son muy localizados. Ej.: Eutrofización de un lago.
- II. **Regionales:** Se extienden más allá del ámbito local. Ej.: Lluvia ácida.
- III. **Globales:** Repercuten en todo el planeta. Ej.: Calentamiento global.

### GRADO DE DESTRUCCIÓN O INTENSIDAD.

- I. **Impacto notable o muy alto:** Aquel cuyo efecto se manifiesta como una modificación del medio ambiente, de los recursos naturales o de sus procesos fundamentales de funcionamiento, que produzca o pueda producir en el futuro repercusiones apreciables en los mismos. Expresa una destrucción casi total del factor considerado en el caso en que se produzca el efecto. Si la destrucción es completa, el impacto se denomina total. Ej.: un embalse de gran tamaño.
- II. **Impacto mínimo o bajo:** Aquel cuyo efecto expresa una destrucción mínima del factor considerado. Ej.: Impacto de los aerogeneradores sobre el suelo.
- III. **Impactos medio y alto:** Aquellos cuyo efecto se manifiesta como una alteración del medio ambiente o de alguno de sus factores, cuyas repercusiones en los mismos se consideran situadas entre los niveles anteriores.

### FORMA DE ACCIÓN.

- I. **Directos:** Actúan directamente sobre el medio afectado.
- II. **Indirectos:** No actúan directamente.



## PERIODICIDAD.

- I. **Continuos**, sus efectos se presentan a través de alteraciones regulares.
- II. **Discontinuos**, las manifestaciones de sus efectos resultan irregulares.
- III. **Periódicos**, sus efectos se producen cíclicamente.
- IV. **Aparición irregular**, sus efectos se declaran de forma imprevisible.

## INTERRELACIÓN DE SUS EFECTOS.

- I. **Simples**. Sus efectos se manifiestan sobre un solo componente ambiental y no producen derivaciones posteriores inducidas. Ej.: tendido eléctrico.
- II. **Acumulativos**. Generan efectos de progresiva gravedad. Ej.: deforestación.
- III. **Sinérgicos**. Su acción, combinada con la de otros impactos, conlleva resultados superiores a los de cada impacto considerado de manera aislada. Ej.: Incendio con lluvias → riadas de barro y cenizas → inundaciones.

## CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN.

- I. **Irrecuperables**. Producen una alteración irreparable del medio.
- II. **Irreversibles**. Hacen muy difícil retornar, por medios naturales, a la situación original inalterada.
- III. **Reversibles**. La modificación puede ser asimilada por el entorno debido al funcionamiento de los procesos naturales.
- IV. **Mitigables**. La alteración puede paliarse ostensiblemente mediante el establecimiento de medidas correctoras.
- V. **Recuperables**. La transformación puede eliminarse por la acción humana, estableciendo las oportunas medidas correctoras.
- VI. **Fugaces**. El impacto cesa cuando se suspende la actividad y no precisa prácticas correctoras o protectoras.

## **CUANTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS.**

Se asigna a cada impacto uno de los cuatro grados de la siguiente escala:

**Tabla 1.6 Escala de impactos ambientales.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Escala de impactos</b>	
Impacto compatible	Ausencia de impacto o impacto positivo
Impacto moderado	No se necesitan medidas correctoras (basta con la acción de la naturaleza)
Impacto severo	Necesita aplicaciones correctoras. La recuperación durará períodos largos de tiempo.
Impacto crítico	Pérdida permanente de la calidad ambiental. No hay posibilidad de recuperación.

Otra forma de categorizar los impactos ambientales está reflejada en el siguiente cuadro:

**Tabla 1.7 Categorización de impactos ambientales.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Impacto ambiental</b>	<b>Calidad del daño</b>	<b>Extensión del daño</b>	<b>Plazo de recuperación</b>	<b>Costos de recuperación</b>
Nulo	Casi inexistente	Muy poco alcance	Inmediato	Ninguno
Despreciable o mínimo	Poco	Local	Muy corto	Bajos
Moderado	Notorio	Local Poco alcance	Corto o mediano	Medianos a altos
Severo	Muy notorio	Local o extensivo	Mediano o Largo	Altos o muy altos
Muy severo	Profundo y destructor	Local o extensivo	Mediano o largo	Muy altos
Total	Total, o casi total	Local o extensivo	Muy largo o irreversible	Incalculable

## **2. PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA (PML), EFICIENCIA ENERGÉTICA Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.**

La Producción Más Limpia consiste en un conjunto de técnicas preventivas para la optimización y mejora de procesos. Los conceptos básicos de PML y sus etapas en un proyecto se explican a continuación, así también el fundamento teórico referente a Eficiencia Energética, concepto que va de la mano a la PML para un mejor uso y aprovechamiento de recursos sin comprometer el bienestar social, ambiental ni económico.

### **2.1. SIGNIFICADO Y DEFINICIÓN DE PML.**

El concepto de Producción más Limpia fue introducido por la Oficina de Industria y Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente (PNUMA) en el año de 1989. (Ministerio de Medio Ambiente y Recurso Naturales, 2010). Esta se define principalmente como la aplicación continua de estrategias ambientales de carácter preventivo, que integra a los procesos, productos y servicios derivados de las diferentes industrias, aumentando en ellos la eficiencia y reduciendo en gran medida el riesgo para el ser humano y el medio ambiente.

El Ministerio de Economía del gobierno chileno, define a PML como: “Una estrategia de gestión empresarial preventiva aplicada a productos, procesos y organización del trabajo, cuyo objetivo es minimizar emisiones y/o descargas en la fuente, reduciendo riesgos para la salud humana y ambiental, y elevando simultáneamente la competitividad” (1998).

Ambas definiciones surgen del concepto acuñado por el PNUMA, pero para comprender asertivamente como surge esta y la necesidad que llevo a su desarrollo, es fundamental la exposición de otro concepto previo, estrictamente se habla del concepto Final de Tubería (EOP por sus siglas en ingles).

El EOP aparece a raíz de la presión que ejercía la población global en cada uno de sus países, al ser consiente del estado de los recursos naturales y que hasta antes de ese punto habían mostrado poco interés, de lo que la industria y sus residuos generaban en el medio ambiente.

Este enfoque de final de tubería estaba principalmente orientado al tratamiento de los efluentes que son descargados, por ello este sistema comprendía y aun comprende el control de todas las aguas remanentes contaminadas. Este método de tratamiento posee inconvenientes relevantes, como lo es principalmente su debilidad implícita ya que es de carácter curativo es decir intentar dar solución a la problemática una vez establecida y no busca evitar su aparición; además de los altos costos asociados a los tratamiento de estos residuos, que simplemente logran una transferencia de la contaminación generada de una forma a otra, y claro está la pérdida de recursos en los residuos que íntegramente se podrían optimizar y convertir en productos finales valiosos.

Por lo antes mencionado su enfoque y sus debilidades inherentes, se promovió la aparición de nuevos métodos orientados hacia una producción más limpia y tecnologías más amigables con el medio ambiente; es entonces cuando en el año de 1990 el PNUMA lanza el Programa de Producción Más Limpia.

Previamente se han establecido dos conceptos que definen a la PML o tecnologías menos contaminantes, que se basan fundamentalmente en la definición del PNUMA: La producción más limpia es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada para procesar y producir productos para reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente. (Asolekar, Shyam R. 1999).

Para los procesos de producción, la producción más limpia implica la conservación de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas y la

reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y desechos antes de abandonar un proceso.

Para los productos, la estrategia se centra en la reducción de los impactos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, desde la extracción de la materia prima hasta la eliminación definitiva del producto.

Existen dos métodos principales para lograr una producción más limpia:

- I. Reducción de la Fuente
- II. Reciclaje

**Reducción de la fuente:** El primer paso en cualquier programa de minimización de desechos es la reducción de los desechos en la fuente. Debido a que se genera poco o ningún desperdicio, la reducción de la fuente alivia los problemas asociados con el manejo y eliminación de desechos. Por lo tanto, es la opción más deseable para la producción más limpia; este método incluye:

- a. Buenas prácticas de operación
- b. Cambios en la tecnología
- c. Cambio de materias primas.
- d. Mejora del producto.

**Reciclaje:** El reciclaje incluye tanto la reutilización como la recuperación. El reciclaje a través de la reutilización implica la devolución de un material de desecho al proceso de origen como un sustituto del material de entrada, o usarlo en otro proceso como material de entrada.

Todos los conceptos establecidos poseen una significancia única y concreta, que es la de promover una generación de bienes y servicios que satisfagan las necesidades de la población haciendo usos de prácticas y métodos productivos menos contaminantes y eficientes que reduzcan el impacto ambiental.

## **2.2. MARCOS REGULATORIOS EN EL SALVADOR.**

### **2.2.1. PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA.**

En El Salvador, las regulaciones de la producción más limpia y los proyectos que de esta surgen están contemplados en la Política de Producción Más Limpia, descrita en el acuerdo N° 28 del Órgano Ejecutivo en el ramo de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2004).

#### **Política de producción más limpia.**

Esta es un compromiso contemplado en el Plan General de Gobierno 1999-2004, que se orienta hacia garantizar el desarrollo sostenible de una competitividad empresarial. Este es considerado como un proceso de aplicación continuo, basado en una estrategia ambiental preventiva que integra a los procesos, productos y servicios. En su apartado I establece una presentación breve del contenido y orientación principal de la política que comprende la participación de todos los sectores y de todos los niveles, para una responsabilidad compartida frente al estado actual del medio ambiente, el numeral II se describen los antecedentes de la PML en el país en el ejemplifican los primeros proyectos de integración regional que promueven un desarrollo menos contaminante en el sector productivo de los países miembros, además de la parcial aplicación del concepto de PML en el país a principios de siglo, pero destacando el fomento de una estrategia preventiva a través de la integración de acciones voluntarias tanto del sector público como privado. El apartado III contempla la actual situación de la PML en el país que evidencia la ausencia de medidas de prevención de contaminación y donde no se aprovechan las oportunidades de mejora continua; Pero se destaca las diferentes instituciones además del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) que desarrollan actividades puntuales referentes a la producción más limpia; El numeral IV puntualiza los principios de la política, que son como sigue:

- a. **Voluntariedad:** Adoptar un conjunto de condiciones para desarrollar producción más limpia, las que una vez aceptadas se convierten en compromisos y responsabilidades verificables entre las partes.
- b. **Prevención:** Ejecutar un proceso de PML, en el que se previenen acciones que puedan deteriorar o degradar los recursos naturales y el medio ambiente.
- c. **Gradualidad:** Aplicación de acciones y metas en la producción más limpia, establecidas cronológica y progresivamente bajo un enfoque de mejoras continuas, a fin de lograr la sostenibilidad de los procesos de producción.
- d. **Concertación:** Forma de integrar el diálogo, la coordinación y los acuerdos entre el sector público y privado, facilitando la introducción, el desarrollo e impacto de la PML en el sector productivo.

El correlativo V se plantea el objetivo general que destaca el logro de un desempeño competitivo de las empresas, incorporando eficiencia y efectividad ecológica, reduciendo la contaminación que se genera, en este también se contemplan los objetivos específicos que son los siguientes:

- a) Reducir la contaminación ambiental adoptando actividades preventivas en los servicios, tecnologías y procesos productivos
- b) Lograr acuerdos de cooperación entre actores públicos y privados sobre temas de gestión ambiental empresarial.
- c) Implementar acuerdos voluntarios con empresas o asociaciones privadas para adecuarse a los procesos de producción más limpia.
- d) Formular normativa y fortalecer la institucionalidad a fin de promover e incentivar las prácticas de producción más limpia.

- e) Crear condiciones favorables que promuevan el desarrollo de un mercado de bienes y servicios para la PML.
- f) Generar el conocimiento y desarrollo de instrumentos de incentivos de PML
- g) Formular sistemas de información sobre tecnologías más limpias y prácticas preventivas de gestión ambiental.
- h) Promover la incorporación del enfoque preventivo en la formulación de las políticas sectoriales e instrumentos reguladores de la administración pública.

Por último, se tiene el numeral VI se presenta las áreas temáticas en las que la política ejerce su alcance:

- i. **Cooperación Pública y Privada:** Promover la incorporación de acciones de PML en el sector productivo, basadas en nuevas formas de cooperación pública y privada.
- ii. **Marco legal e Institucional:** Formular la normativa técnica jurídica que incorpore la PML y fortalecer la institucionalidad para su efectiva aplicación
- iii. **Incentivos:** Diseñar e implementar un programa de incentivos para fomentar la PML.
- iv. **Información y publicidad:** Generar información sobre tecnologías limpias y procurar su difusión.
- v. **Formación de capacidades:** Generar capacidades en PML tanto en el sector público como en el privado.

### **2.2.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA.**

De forma general se establece a la Política Energética Nacional de El Salvador (Consejo Nacional de Energía), como lineamiento regulador de Eficiencia Energética (EE) en el país. Esta se enmarca por una parte dentro de las acciones



concretas definidas a partir del plan de Gobierno, pero por otro, dirige su alcance a constituirse en un instrumento que configure un nuevo escenario energético de mediano y largo plazo, que provea de la posibilidad de ampliar la capacidad y cobertura, mediante factores de eficiencia, optimización y ahorro, así como la configuración de una nueva matriz energética basada en el desarrollo sostenible, que está comprendida en el plazo de (2010-2014).

En sus diferentes secciones dicha política incluye:

Una introducción concisa de hacia dónde está orientada la nueva política energética; El correlativo 2 establece los antecedentes de la situación energética en el país, describiendo las diferentes medidas que a lo largo de los años desde la década de los noventa se han venido generando en torno a este rubro, pero que en su mayoría todas ellas no cumplieron con los objetivos en su momento planteado.

Estos antecedentes se contextualizan tanto en el ámbito internacional, como en el nacional, además de abordar temas como la descripción del sistema energético actual que incluye tanto al sector eléctrico, como al sector de hidrocarburos; La matriz energética salvadoreña y su respectivo suministro primario y secundario.

El apartado 3 de la política habla de La Nueva Política Energética de El Salvador, sus actuales desafíos, ejemplo de ello la cadena de suministro, donde encontramos al petróleo que es 100% importado; También la relación de esta y la Agenda del Cambio Climático, donde uno de los principales objetivos es la reducción de las emisiones de GEI, de los cuales el sector energético es uno de los principales generadores.

Siempre en el mismo numeral se plantean los objetivos generales que consideran los desafíos y principios de la política, de estos tenemos:

- a) Garantizar un abastecimiento de energía oportuno, continuo, de calidad, generalizado y a precios razonables a toda la población.
- b) Recuperar el papel del Estado en el desarrollo del sector energético, fortaleciendo el marco institucional y legal que promueva, oriente y regule el desarrollo del mismo, superando los vacíos y debilidades existentes que impiden la protección legal de las personas usuarias de estos servicios.
- c) Reducir la dependencia energética del petróleo y sus productos derivados, fomentando las fuentes de energía renovables, la cultura de uso racional de la energía y la innovación tecnológica.
- d) Minimizar los impactos ambientales y sociales de los proyectos energéticos, así como aquellos que propician el cambio climático.

En la Sección 4 se exponen las líneas estratégicas de la política energética, que dan solución a los desafíos que plantea previamente la misma, considerando previamente un proceso de consulta a los principales actores del sector energético; Los lineamientos se integran en seis grandes grupos con una interrelación entre los mismos:

- 1) **Diversificación de la matriz energética y fomento a las fuentes renovables de energía:** mediante la incorporación de nuevos combustibles y promoviendo el uso de Fuentes de Energía Renovables, en los subsectores electricidad e hidrocarburos, reduciendo progresivamente la dependencia del petróleo y sus derivados.
- 2) **Fortalecimiento de la institucionalidad del sector energético y protección al usuario:**
  - i) Recuperar el papel del Estado en el desarrollo del sector energético, fortaleciendo el marco institucional y legal que promueva, oriente y regule el desarrollo del mismo, superando los vacíos y debilidades existentes que impiden la protección legal de las personas usuarias de estos servicios.

- ii) Fortalecer el funcionamiento del Consejo Nacional de Energía entidad creada con la visión de que el país cuente con un sistema energético sostenible y competitivo, desarrollando el papel estratégico que debe cumplir en función del desarrollo energético del país.
- 3) **Promoción de una cultura de eficiencia y ahorro energético:**
- Promover el ahorro y uso adecuado de los recursos energéticos, incentivando el uso de tecnologías más eficientes en el sector público, el comercio, la industria, los servicios y el hogar, así como en el sector transporte, a través de normativas, incentivos y promoción educativa del ahorro energético, buscando disminuir la emisión de gases de efecto invernadero.
- 4) **Ampliación de cobertura y tarifas sociales preferentes:**
- i) Propiciar el acceso a las diferentes formas de energía a toda la población, priorizando en las zonas rurales de difícil acceso y de menores Índices de Desarrollo Humano con la inversión en sistemas alternativos y renovables.
  - ii) Garantizar la focalización de los subsidios, particularmente los dirigidos al consumo doméstico de las familias de escasos recursos.
- 5) **Innovación y desarrollo tecnológico:**
- Impulsar la investigación y desarrollo (I&D) de tecnologías energéticas, especialmente las tecnologías limpias, con participación de universidades, centros de investigación, la empresa privada, organismos Internacionales y otros grupos, fomentando el intercambio y la transferencia de tecnología y conocimiento con diferentes países de América Latina y el Mundo, con el fin de proporcionar soluciones reales e innovadoras a la problemática del sector energético y contribuir con el desarrollo sostenible del país en dicho sector.

6) **Integración Energética Regional:**

Impulsar y apoyar la integración de los mercados energéticos, a fin de disponer de fuentes energéticas diversificadas y a menor costo.

Por último, se listan en la política diferentes actividades relacionadas a las líneas estratégicas de la política energética.

### **2.2.3. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.**

La Evaluación de Impacto Ambiental, es un proceso que se exige en la Ley de Medio Ambiente de la república de El Salvador, específicamente en el artículo 18 en el que se define de la siguiente manera:

Es un conjunto de acciones y procedimientos que aseguran que las actividades, obras o proyectos que tengan un impacto ambiental negativo en el ambiente o en la calidad de vida de la población, se sometan desde la fase de pre inversión a los procedimientos que identifiquen y cuantifiquen dichos impactos y recomienden las medidas que los prevengan, atenúen, compensen o potencien, según sea el caso, seleccionando la alternativa que mejor garantice la protección del medio ambiente. (1998).

Además, en la misma ley se dictamina en el capítulo único de diagnósticos ambientales, según el artículo 107 que de conformidad al artículo 20, todos aquellos titulares de actividades, obras o proyectos públicos o privados que se encuentren funcionando al entrar en vigor la ley, deberán someterse a la evaluación de impacto ambiental.

En El Salvador el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental se realiza en cumplimiento con el artículo 19 del Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente, que comprende cuatro etapas:

- a. Planificación de la actividad, la obra o el proyecto, que debe incluir:
  - i. Información básica del proyecto a través del Formulario Ambiental
  - ii. Términos de Referencia
  - iii. Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental
  - iv. Consulta Pública del Estudio de Impacto Ambiental
  - v. Análisis y evaluación del Estudio de Impacto Ambiental
  - vi. Realización de inspecciones ambientales, periódicas o aleatorias
  - vii. Dictamen técnico sobre el Estudio de Impacto Ambiental
  - viii. Resolución y presentación de la Fianza de Cumplimiento Ambiental
  - ix. Emisión del Permiso Ambiental.
- b. La construcción de la actividad, la obra o el proyecto, comprendiendo la preparación del sitio, edificación de obra civil, equipamiento y prueba
- c. El funcionamiento de la actividad, obra o proyecto
- d. El cierre de operaciones y rehabilitación.

### **2.3 METODOLOGÍA DE PML.**

Para desarrollar un proyecto de eco eficiencia en una empresa, se sigue un conjunto ordenado de actividades que se ejecutan en secuencia a cinco etapas principales, como lo describe la siguiente figura.



**Figura 2.1 Fases de metodología de PML.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Las etapas mencionadas en la Figura 2.1, como cualquiera de sus pasos subsiguientes pueden ser modificadas en función de las características de la empresa.

### **2.3.1 PLANEACIÓN Y ORGANIZACIÓN.**

Esta etapa consta básicamente de 4 actividades que van desde el reconocimiento de la necesidad de un proyecto de PML, hasta el establecimiento de un programa organizado de PML como lo resume el siguiente diagrama.



**Figura 2.2 Actividades en la etapa de planeación y organización.**

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Actividad 1. Obtener compromiso de la gerencia.**

Para iniciar el desarrollo del programa de PML y asegurar su ejecución, calidad y continuidad, se requiere que exista un compromiso de la gerencia.

Se considera que el compromiso de la gerencia ha sido asegurado, cuando se alcanzan las siguientes metas:

- a. Se cuenta con la aprobación de la gerencia para conformar un comité de PML, con personal ejecutivo de la empresa, responsable de coordinar las actividades de desarrollo del programa.
- b. Se ha nombrado al ejecutivo responsable del comité.

- c. Se ha definido objetivos y metas del programa, y se ha comprometido recursos humanos, financieros y otros requeridos.
- d. Se ha comunicado y difundido los objetivos y metas del programa y se ha estimulado la participación de los empleados.

La gerencia debe estar plenamente convencida de la necesidad y de los beneficios que el programa de PML representa para su propia empresa; Éstos incluyen:

- a. Beneficios económicos: Por el uso más eficiente de materias primas, agua, energía y otros insumos en los procesos.
- b. Beneficios ambientales: Por la eliminación de materias peligrosas, reducción de la carga de contaminantes en los efluentes de la planta, y la disminución de los requerimientos para el tratamiento final y disposición de los desechos.
- c. Beneficios externos: Por ejemplo: mejoramiento de la imagen pública de la empresa y el cumplimiento de las normas ambientales vigentes.

### **Actividad 2. Organizar el equipo del proyecto de PML.**

Se debe crear el comité de PML, a fin de que la empresa cuenta con una instancia para la toma de decisiones, que le permita gestionar las actividades de PML.

Se sugieren los siguientes miembros para dicho comité:

- a. Representante de la dirección.
- b. Gerente de producción.
- c. Área de medio ambiente.
- d. Área de mantenimiento.
- e. Supervisor motivado.
- f. Operador o técnico motivado.
- g. Contador.
- h. Consultor externo.

Las funciones principales del comité son:



- a. Desarrollar, coordinar y supervisar todas las actividades referentes al programa de PML.
- b. Identificar los obstáculos que podrían impedir el éxito del programa en la empresa.
- c. Difundir regularmente los resultados y éxitos del programa de PML, a fin de conservar, a largo plazo, el apoyo y el entusiasmo de la gerencia y del personal de la empresa.

### **Actividad 3. Definir las metas de PML en planta.**

Esta definición está apoyada en los siguientes criterios:

- d. Las metas deben ser apropiadas y medibles.
- e. Deben presentar mejoras ambientales y/o económicas significativas.
- f. Las metas a corto plazo deben ser realistas.
- g. Las metas a largo plazo deben ser un reto.

Además de los anteriores también es posible hacer usos de indicadores, por ejemplo:

- a. Estándares internos de productividad.
- b. Consumo de agua, energía, generación de residuos.
- c. Tecnología de vanguardia.
- d. Legislación ambiental.

### **Actividad 4. Identificar barreras y soluciones.**

Los puntos clave para el desarrollo de esta actividad parten de la estructura organizacional de la compañía, situación actual de la tecnología en la planta, información disponible y accesible, y falta de comunicación en las áreas.

En la siguiente tabla se describen ejemplos de los obstáculos que el comité y/o equipo de diagnóstico pueden enfrentar al inicio de un programa de PML, así como algunas posibles soluciones a tales obstáculos.

**Tabla 2.1 Ejemplos de obstáculos en la implementación de un programa de PML.**

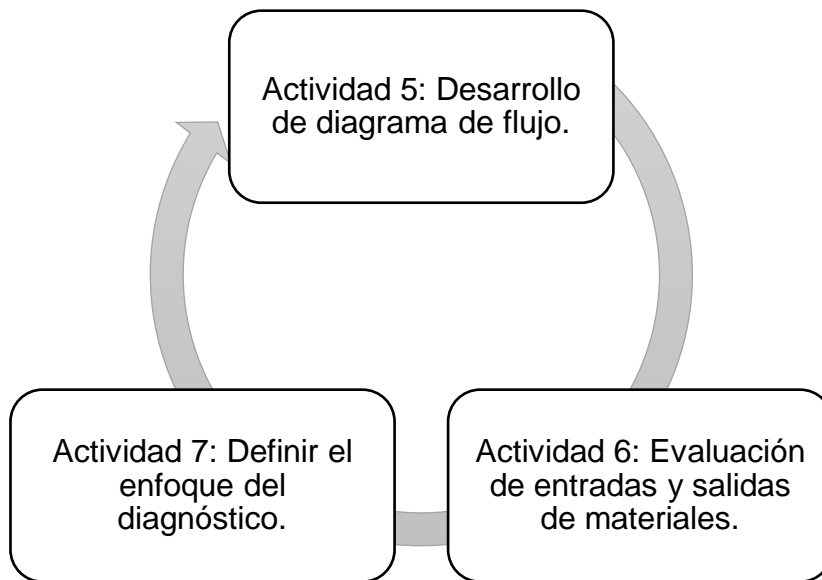
*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Obstáculos.</b>	<b>Ejemplo.</b>	<b>Solución.</b>
<b>De información.</b>	Se desconocen los beneficios de la PML.	Mostrar beneficios en base a casos exitosos en la misma y otras empresas.
<b>Institucionales.</b>	Resistencia al cambio; falta de espíritu y/o práctica de trabajo en equipo.	Interesar al personal mostrándole beneficios laborales, etc.
<b>Tecnológicos</b>	Incapacidad de adecuar y/o apropiar la tecnología.	Mostrar ejemplos de industrias que han adecuado o apropiado tecnología aun cuando no sean del mismo rubro.
<b>Financieros</b>	Falta de recursos financieros y/o baja capacidad de acceso a créditos.	Estimar las pérdidas económicas ocasionadas por deficiencias existentes. Mostrar que las inversiones en PML son atractivas debido a los cortos períodos de retorno.

Los obstáculos que no puedan ser superados en esta etapa del programa, deben ser considerados nuevamente en las etapas de evaluación de las opciones de PML identificadas durante el diagnóstico.

### **2.3.2 PRE-EVALUACIÓN.**

En esta etapa se continúa con la secuencia de pasos, que inician con el establecimiento de un diagrama general hasta terminar con la definición del enfoque de diagnóstico; El diagrama que sigue resume dicha consecución de pasos.



**Figura 2.3 Actividades en la etapa de pre evaluación.**

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Actividad 5. Desarrollo de diagrama de flujo.**

El proceso de producción se divide en operaciones unitarias. Una operación unitaria es un componente de un proceso de producción, que cumple una función específica, y sin la cual el proceso no podría cumplir su función global. Ejemplos de operaciones unitarias en el proceso de curtiembre son: recepción de pieles, remojo, pelambre, etc. Ejemplos de operaciones unitarias de carácter general son: molienda, tamizado, cocción, agitación, filtración, destilación, centrifugación, entre otros.

El diagrama de flujo se hace enlazando dichas operaciones unitarias. Un diagrama de flujo es un esquema lineal gráfico, con símbolos y flechas, que muestra la secuencia de las operaciones unitarias identificadas, así como datos, preferiblemente cuantitativos, sobre las entradas, salidas y pérdidas de cada operación, incluyendo entradas y salidas a fin de representar la transformación de

las materias primas, energía y otros insumos, en productos, subproductos y residuos.

En resumen, un diagrama de flujo:

- a. Permite la caracterización del proceso y hace visibles las oportunidades de PML.
- b. Ayuda al equipo de PML a tener una mejor comprensión del proceso, que lo que se obtendría con otros medios.
- c. Son útiles para que el equipo de PML comunique lo que se planea cumplir.

### **Actividad 6. Evaluación de entradas y salidas de materiales.**

Ya identificadas todas las etapas del proceso, se revisan entradas y salidas, y se relacionan las etapas del proceso con el flujo de materiales.

Se deben realizar las siguientes actividades:

- a) Recopilar bibliografía e información general, relacionadas con el tipo de industria en cuestión, sobre:
  - i. Procesos que se utilizan en ese tipo de industria.
  - ii. Equipos involucrados en dichos procesos.
  - iii. Evaluaciones ambientales en una industria de ese tipo.
- b) Recopilar información técnica de la empresa sobre sus procesos de producción:
  - i. Producción (datos de por lo menos los últimos doce meses)
  - ii. Uso y costo de materias primas, agua, energía y otros insumos.
  - iii. Tipo, cantidad y origen de residuos, desechos y pérdidas.
  - iv. Operaciones y costo anual del tratamiento y disposición de desechos.
  - v. Estudios de prevención de la contaminación y eficiencia energética realizados en la empresa.

- vi. Revisar prácticas de operación y mantenimiento.
- vii. Revisar prácticas de selección de materiales.

c) Inspección general de la planta para comprender las operaciones asociadas a los procesos y sus interrelaciones.

Con la información anterior se evalúa de forma preliminar, las entradas y salidas de las operaciones unitarias y se estiman los costos derivados tanto de las ineficiencias productivas, como de la generación y tratamiento de residuos y/o la disposición final de desechos.

### **Actividad 7. Definir el enfoque del diagnóstico.**

Para definir el enfoque de diagnóstico, se debe tomar en cuenta:

Criterios Económicos.

- a. Pérdidas económicas relacionadas con los residuos generados.
- b. Consumo energético elevado, agua potable/tratada, materias primas.

Criterios Técnicos.

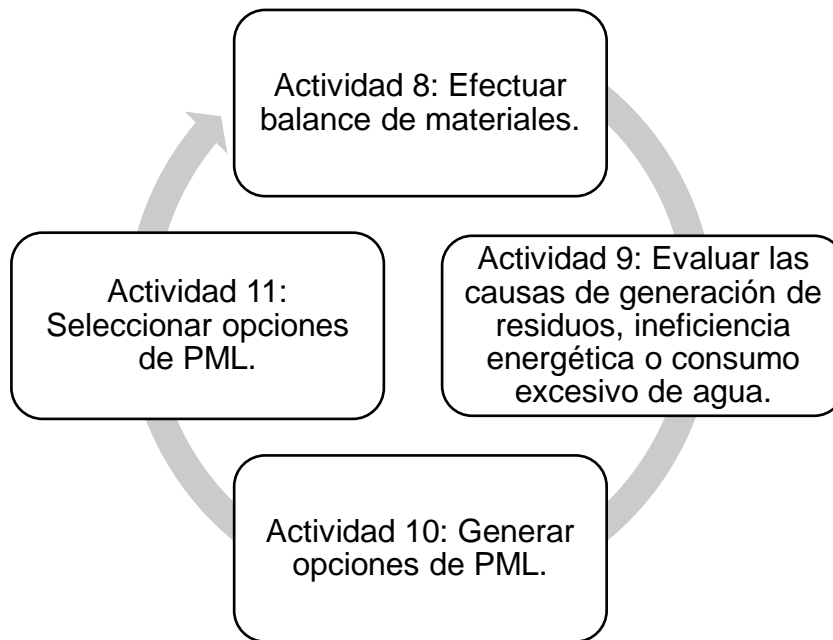
- a. Potencial de mejora esperado.
- b. Posibilidad para aplicar medidas de PML en las actividades operativas.

Criterios Ambientales.

- a. Volumen y composición de los residuos.
- b. Situación actual del programa de gestión ambiental.

### **2.3.3 DIAGNÓSTICO.**

Esta etapa incluye las actividades en las que se centra la cuantificación de los recursos y por consiguiente la selección de propuesta de mejoramiento, cada actividad se explica en el siguiente texto y se resumen en la figura 2.4.



**Figura 2.4 Actividades en la etapa de diagnóstico.**

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Actividad 8. Efectuar balance de materiales.**

El propósito de esta actividad es identificar y cuantificar pérdidas o emisiones antes desconocidas, a la vez de proporcionar de dónde, por qué y cuántos residuos y emisiones se generan y cuánta energía se pierde.

Para efectuar dicho balance, el equipo de diagnóstico debe realizar las siguientes actividades:

- a. Establecer la función, el mecanismo y los parámetros (tiempos, temperatura, presión, pH y otros) de funcionamiento de cada operación unitaria.
- b. Observar, con el detenimiento necesario, el funcionamiento de la operación unitaria bajo parámetros normales de operación, para entender el mecanismo operativo de las máquinas asociadas y las responsabilidades de los trabajadores.

- c. Medir las entradas de cada operación unitaria. La medición de materias de entrada incluye: el consumo de materia prima, agua, energía y otros insumos. Las mediciones de energía térmica incluyen mediciones de flujo y temperatura de agua, vapor u otros fluidos térmicos que entran en la operación. Las mediciones de energía eléctrica se realizan en motores, resistencias o equipos que estén directamente relacionados con la operación unitaria.
- d. Medir las salidas, incluyendo residuos y pérdidas cuantificables, de cada operación unitaria; La medición de materias de salida incluyen: la cantidad y tipo de productos y subproductos; la cantidad y características de los residuos sólidos, líquidos y gaseosos (incluye flujos y calidad de residuos); y las mermas y pérdidas accidentales (por derrames o fugas). Asimismo, medir el flujo y temperatura del agua, vapor o fluidos térmicos que salen de la operación unitaria, incluyendo temperaturas y dimensiones de las superficies o tuberías que carecen de aislamiento térmico.
- e. Combinar los datos sobre las entradas y las salidas de cada operación unitaria para obtener un balance preliminar de materiales y energía. Se debe identificar, verificar y corregir las diferencias o anomalías encontradas en cada balance, y detallar con más cuidado los balances que involucren desechos peligrosos o de alto costo.
- f. Determinar, por diferencia de entradas y salidas, las pérdidas no identificadas y, por ende, no cuantificadas como parte de las salidas.

**Actividad 9. Evaluar las causas de generación de residuos, ineficiencia energética o consumo excesivo de agua.**

Los puntos clave dentro del desarrollo de esta actividad están orientados a:

- a. Identificar las tecnologías de producción y diseño de la planta.

- b. Situación actual de la operación y mantenimiento.
- c. Control de las condiciones óptimas del proceso.
- d. Potencial de reúso de agua y reciclaje.
- e. Habilidades y motivación de los empleados.

### **Actividad 10. Generar opciones de PML.**

Las causas identificadas, que originan ineficiencias y flujos contaminantes, constituyen la base sobre la cual pueden plantearse las opciones de PML. Para tal efecto, se recomienda seguir la secuencia, que utiliza criterios priorizados en el orden de que se lista:

- a. Como primera prioridad, se busca mejorar la eficiencia de cada operación unitaria, mediante la optimización del uso de materias primas, agua y energía, entre otros insumos. Como parte de este mismo criterio, también se busca sustituir materias primas y otros insumos, cuyo uso sea peligroso ya sea para la salud de los operarios o para el medio ambiente, incluyendo si fuere necesario, la posibilidad de reformular el producto o algunas de sus características. La aplicación de este criterio permite reducir costos unitarios de producción, y al mismo tiempo, minimizar la peligrosidad y cantidad de flujos contaminantes y/o pérdidas de energía en sus fuentes de origen. Estos últimos aspectos, a su vez, permiten reducir los costos de operación asociados al tratamiento final de residuos.
- b. Como segunda prioridad, se busca reciclar, reutilizar y/o recuperar los flujos de residuos, a fin de reducir pérdidas de insumos y/o productos, lo que a su vez incide en la reducción de costos unitarios de producción y costos de operación asociados al tratamiento final de residuos.
- c. Como tercera prioridad, y después de haber agotado las dos anteriores, se puede considerar el implementar un sistema destinado al tratamiento final de residuos.



Para plantear dichas opciones, se requiere de fuentes de información que pueden comenzar como lluvia de ideas en el equipo de diagnóstico y solicitar ideas fuera del equipo de trabajo. Revisar ejemplos de opciones de PML aplicadas al sector o empresa en estudio, así como la revisión de nuevas tecnologías puede dar una mejor idea de qué camino tomar a la hora de optar por las opciones que sean de mayor beneficio a la empresa tanto económica como ambientalmente.

### **Actividad 11. Seleccionar opciones de PML.**

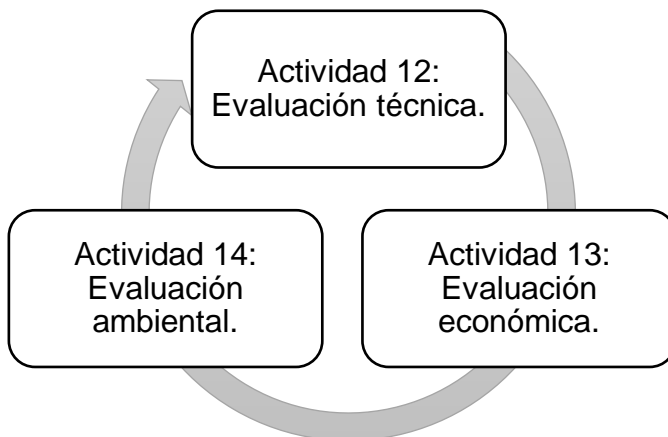
Una vez planteadas las opciones de PML para mejorar la eficiencia de una operación unitaria, el equipo de diagnóstico debe plantear las alternativas más apropiadas para su implementación, a fin de contar con información que facilite seleccionar las opciones viables y descartar aquellas cuya implementación no sea practicable.

En ese sentido, a partir de las opciones planteadas se debe seleccionar sólo aquellas opciones cuya implementación no presente impedimentos obvios (sobre todo en términos técnicos), y en general se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- a. Organizar opciones por unidad de operación.
- b. Evaluar interferencias mutuas obvias.
- c. Implementar medidas obviamente posibles.
- d. Eliminar aquellas no factibles.

### 2.3.4 ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD.

Los tres estudios de factibilidad que se describen en esta etapa (ver Figura 2.5) a través de las actividades, se realizan con el objetivo de verificar si las medidas o cambios propuestas, contribuyen a una mejora en la eficiencia del proceso productivo.



**Figura 2.5 Actividades en la etapa de factibilidad.**

*Fuente: Elaboración propia.*

#### **Actividad 12. Evaluación técnica.**

El objetivo de esta evaluación es verificar la viabilidad técnica de implementar las modificaciones o cambios propuestos en la opción de PML, y proyectar sus respectivos balances de materia y energía.

Se deben considerar los siguientes puntos:

- a. Disponibilidad y confiabilidad del equipo.
- b. Espacio disponible en la planta.
- c. Efectos sobre la calidad y productividad.
- d. Requerimientos de mantenimiento y servicios.
- e. Habilidades de operadores y supervisores.
- f. Implicaciones de seguridad e higiene.
- g. Tiempos muertos.

### **Actividad 13. Evaluación económica.**

El objetivo de esta evaluación es determinar la factibilidad económica de las opciones de PML calificadas en el paso anterior como técnicamente viables.

A fin de facilitar la evaluación económica, se requiere establecer ciertos criterios económicos, que permitan analizar el beneficio económico que se obtendría de la inversión destinada a implementar las opciones de PML.

Los indicadores financieros de rentabilidad que más se utilizan son:

- a. Valor presente neto. (VPN)
- b. Tasa interna de retorno. (TIR)
- c. Período simple de recuperación de la inversión.

### **Actividad 14. Evaluación ambiental.**

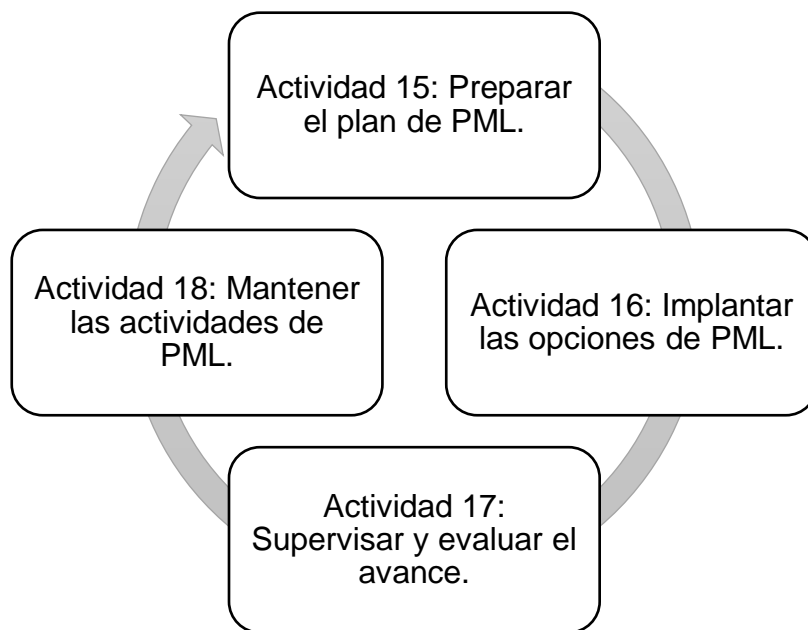
Una evaluación ambiental es aquella que contempla la reducción de impactos negativos hacia el medio ambiente y con ello reducir las afectaciones de flora, fauna y humanos. La factibilidad ambiental debe realizarse de forma cuantitativa y cualitativa.

Las reducciones encontradas en términos de cantidades, concentraciones, toxicidades, etc.; se expresan como indicadores de desempeño relacionados con:

- a. La eficiencia en el uso de materias primas, agua, energía y/u otros insumos. Por ejemplo: kg de insumo/kg de producto, kWh de consumo/kg de producto, kg de residuo/kg de producto.
- b. El reciclaje, reúso y/o recuperación de residuos, como tales o transformados, y para los cuales se les puede encontrar o se encontró un uso interno o externo en la planta, o un mercado.

### 2.3.5 IMPLEMENTACIÓN Y CONTINUIDAD.

En esta etapa todas las actividades están básicamente enfocadas hacia el establecimiento de un plan de desarrollo de las medidas de PML y consecuente seguimiento del mismo, todas ella resumidas en el siguiente diagrama (ver Figura 2.6).



**Figura 2.6 Etapas en la implementación y continuidad.**

*Fuente: Elaboración propia.*

#### **Actividad 15. Preparar el plan de PML.**

Un programa de implantación debe considerar y explicar los siguientes puntos:

- ¿Qué actividades específicas se tienen que desarrollar?
- ¿Quién es el responsable de esas actividades?
- ¿Qué resultados específicos se esperan?
- ¿Cuánto y durante qué tiempo se deben supervisar los cambios?
- ¿Cuándo se debe evaluar el progreso?

### **Actividad 16. Implantar las opciones de PML.**

La implantación debe considerar: planeación, diseño, gestión y construcción.

Otros puntos clave:

- a. Especificaciones técnicas detalladas.
- b. Planeación apropiada para reducir el tiempo de instalación.
- c. Financiamiento.
- d. Instalación.
- e. Control apropiado de la instalación.
- f. Preparación para el inicio de operación.

### **Actividad 17. Supervisar y evaluar el avance.**

Existen tres maneras de supervisar la efectividad de la implantación de una opción de PML:

- a. Mejoras en la productividad.
- b. Reducción en las emisiones y residuos.
- c. Reducción en el consumo de recursos. (Incluyendo energía)

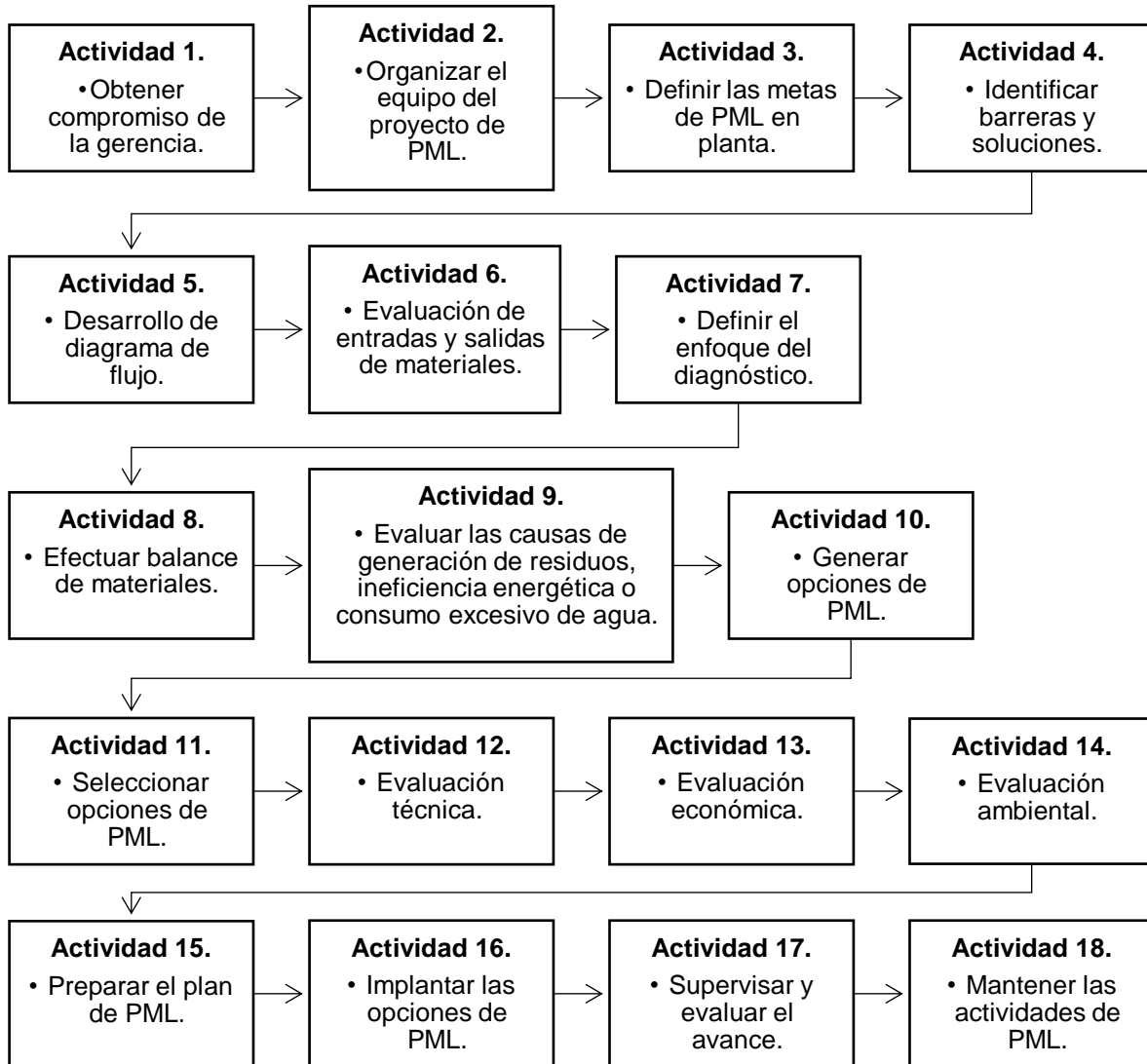
Los costos operativos y los beneficios se pueden calcular con base a una comparación de “antes y después”.

### **Actividad 18. Mantener las actividades de PML.**

Mantener las actividades de PML se puede lograr a través de los siguientes puntos:

- a. Capacitación al personal.
- b. Incorporar PML en el desarrollo técnico.
- c. Hay que asegurar que los empleados se involucren.
- d. Establecer programas de mantenimiento.
- e. Investigación y desarrollo de PML.
- f. Incorporar PML al sistema de administración ambiental.

A continuación, se presenta un diagrama que resume la secuencia de actividades a seguir para la aplicación de la metodología de PML.



**Figura 2.7 Diagrama de actividades para aplicación de metodología de producción más limpia.**

*Fuente: Elaboración propia.*

## **2.4 METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL: MÉTODO MEL-ENEL.**

De acuerdo con MEL-ENEL, el éxito en la elaboración de un estudio de impacto ambiental descansa en el claro conocimiento del proyecto y del medio ambiente interactuante. Para el primer caso, el grupo evaluador deberá conocer a fondo el proyecto o acción propuesta, tanto en su fase de ejecución como de operación, de tal forma que pueda desglosarlo en sus componentes o acciones potencialmente impactantes.

### **2.4.1 ETAPA I - DESGLOSE DE ACCIONES DEL PROYECTO.**

El método propone para esta primera etapa cuatro pasos secuenciales:

**PASO 1:** Descripción del proyecto a cargo de personal competente de apoyo al estudio, asignado por el titular del proyecto. Normalmente la descripción deberá incluir las etapas de ejecución y de operación del proyecto. La descripción del proyecto deberá ser exhaustiva por parte del representante técnico del titular del proyecto y durante la misma, deberá estar presente todo el equipo multidisciplinario evaluador.

**PASO 2:** Reuniones de discusión del proyecto y análisis de la información recopilada de apoyo, por parte del equipo multidisciplinario, con el fin de elaborar un listado ordenado de acciones o actividades del proyecto potencialmente impactantes.

**PASO 3:** Una vez que se cuenta con el listado de las acciones potencialmente impactantes, el equipo evaluador procederá a verificar que se cumplan dos condiciones fundamentales, de acuerdo con el método MEL-ENEL. De no cumplirse cuales quiera de ellas, deberá efectuar los ajustes correspondientes en el listado

antes de continuar a la segunda etapa del método. Estas condiciones, que fueron tomadas de la estadística, son las siguientes: Colectividad y Exclusividad. La primera de ellas significa que la sumatoria de las acciones debe ser igual al proyecto total y por ende, no se deben dejar por fuera acciones potencialmente impactantes del mismo. La segunda significa que el contenido temático o significado de cada acción o componente de proyecto, no debe repetirse total o parcialmente en otro componente, o sea, que no debe haber intersección entre las acciones.

**PASO 4:** Como producto de esta primera etapa del método, se elaborará una tabla resumen con las acciones o actividades del proyecto (una para la fase de ejecución y otra para la fase de funcionamiento) potencialmente impactantes que deberán cumplir los requisitos de colectividad y exclusividad.

#### **2.4.2 ETAPA II - DESGLOSE DE FACTORES AMBIENTALES.**

De acuerdo con MEL-ENEL el éxito en la elaboración de un estudio de impacto ambiental, descansa en el claro conocimiento del proyecto y del medio ambiente interactuante. MEL-ENEL propone una estrategia para identificar con la seguridad adecuada, cuáles deben ser los elementos del medio ambiente que formarán parte del estudio, de tal manera que se incorporen únicamente aquellos que son relevantes para efectos de la evaluación y toma de decisiones. Esta etapa del método se hará mediante tres pasos consecutivos:

**PASO 1:** En el método MEL-ENEL se debe efectuar una visita de reconocimiento de campo, a la cual se deberá llevar la lista de acciones del proyecto surgida de la primera etapa del método. Deberá efectuarse por el equipo multidisciplinario completo y deberán contar con transporte y un guía conocedor de la zona (preferiblemente con el representante técnico del titular del proyecto), de tal forma que el equipo evaluador pueda ubicarse exactamente en cada uno de los sitios geográficos en que se llevarán a cabo las acciones del proyecto.



**PASO 2:** El listado de factores ambientales finalmente decidido por consenso y discusión interdisciplinaria del equipo, permitirá definir en forma preliminar el área de influencia o entorno del proyecto, esto es, aquella parte del medio ambiente que interactúa potencialmente con el proyecto y por ende es la receptora potencial de sus impactos. Con el fin de simplificar las siguientes etapas del método, se recomienda que la lista de factores ambientales no exceda de veinte, situación que se logra mediante un ejercicio de agrupación o jerarquización adecuada de los factores ambientales, según sus contenidos temáticos: Físicoquímica, Biológica (ecológica), Socioeconómica y Estética.

**PASO 3:** Como producto de esta etapa del método, se elaborará una tabla resumen con los factores ambientales potencialmente impactados, que deberán cumplir los requisitos de colectividad y exclusividad.

### **2.4.3 ETAPA III - MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.**

A diferencia de métodos convencionales, que parten de una matriz general y culminan con gran esfuerzo y dificultad con una específica, MEL-ENEL permite elaborar en forma directa la matriz específica del proyecto evaluado. El trabajo del equipo evaluador deberá ser de tipo interdisciplinario para el éxito de esta etapa.

**PASO 1:** El método MEL-ENEL propone la elaboración de una matriz específica de interacción, con un máximo de 400 celdas para la condición más crítica (M = 20 filas por N = 20 columnas), la cual servirá como herramienta técnica para la identificación de los impactos potenciales, gracias a la interacción entre las filas y las columnas, que deberán asignarse de la siguiente forma: N = número de acciones de proyecto, y M = número de factores ambientales.

**PASO 2:** Revisión una a una, en forma descendente, de las interacciones entre el primer componente del proyecto y cada uno de los factores ambientales. Cada vez que el grupo evaluador dictamine por consenso, que existe una interacción causa/efecto, se anotará en la celda un número en el orden ascendente (1, 2, 3, 4...). Este número de referencia corresponde a un impacto directo, determinado por el equipo evaluador mediante tormenta de ideas. Cuando no se determine interacción se dejará la celda en blanco y se continuará con la siguiente.

**PASO 3:** Cada impacto directo deberá identificarse con un nombre clave, que sea fácilmente reconocible por todo el equipo para las siguientes tareas del método. Se debe elaborar una tabla de cuatro columnas que respalde el proceso de identificación en la matriz específica: en la primera columna se pondrá el número de referencia, asignado dentro de cada celda en que existe interacción directa junto con el signo (positivo o negativo) del impacto. En la segunda se asignará un nombre clave (resumen) del impacto directo; en la tercera columna se describirá brevemente el significado de este impacto según el consenso del equipo evaluador, y en la cuarta se procederá a listar al menos tres posibles impactos indirectos que se generan en el medio ambiente a partir del directo identificado en la matriz.

**PASO 4:** Se procederá de la misma manera anteriormente descrita con la segunda acción del proyecto en forma descendente y así sucesivamente, hasta agotar la matriz. De esta forma se culminará con el cuadro anterior con la totalidad de impactos directos e indirectos del proyecto evaluado. Podrá observarse que los impactos en algunos casos se repiten (aunque las causas sean diferentes) y en otros se refieren a efectos similares, dado el carácter sistémico del medio.

#### **2.4.4 ETAPA IV - CATEGORÍAS POR IMPACTOS GENÉRICOS.**

**PASO 1:** Una vez que se tiene la identificación y descripción de impactos directos e indirectos, se procede a efectuar mediante un trabajo interdisciplinario, una

agrupación u ordenamiento de los mismos utilizando como criterio de agrupación el factor ambiental impactado, inicia con un proceso de análisis (desglose del proyecto en todos sus posibles impactos individuales) y continúa con un proceso de síntesis (agrupación de los impactos puntuales en categorías genéricas).

**PASO 2:** Una vez analizados todos los impactos con el fin de reconocer las categorías o grupos genéricos, MEL-ENEL propone construir otro cuadro con 4 columnas. Cada impacto genérico agrupará y detallarán los impactos directos e indirectos de cada categoría, con su correspondiente detalle general. Para llenar la casilla de la descripción bastará con copiar las reseñas parciales de los impactos directos e indirectos que se presentan anteriormente en la etapa III paso 3.

#### **2.4.5 ETAPA V - EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS GENÉRICOS.**

Como producto de la aplicación de MEL-ENEL, hasta este momento se cuenta con un listado de impactos genéricos (categorías de impacto según el factor ambiental afectado), tanto positivo como negativo, para cada una de las fases (ejecución, operación) del proyecto. Se conoce además el origen de los mismos, las acciones que los causan y los factores del ambiente que son modificados. A diferencia de las etapas anteriores del método, ésta tendrá un fuerte componente de trabajo multidisciplinario y en menor grado interdisciplinario, contrariamente a las anteriores.

**PASO 1:** Antes que el coordinador técnico del equipo distribuya el trabajo de evaluación particular dentro de los especialistas del equipo, es necesario que todos los miembros comprendan a profundidad los siguientes conceptos, alcances y limitaciones de esta etapa. El proceso de evaluación es un análisis profundo de la significancia ambiental de los impactos genéricos y, por ende, requiere de un análisis multidisciplinario más que interdisciplinario. Por lo tanto, en esta etapa cobra fuerza la participación individual de los especialistas que conforman el equipo

evaluador y el director técnico del estudio deberá asignar tareas específicas de evaluación a cada uno de los miembros, ya sea en forma individualizada o en pequeños grupos (por ejemplo, dos miembros) del equipo evaluador. La lista de impactos genéricos deberá dividirse según su signo ambiental.

- a. Positivos: aquellos que se refieren a modificaciones que resultan en ganancias o beneficios para el medio ambiente. Para la aplicación típica en nuestro medio, estos impactos quedarán a nivel descriptivo, sin requerirse su evaluación.
- b. Negativos, los que provienen de modificaciones que resultan en pérdidas o costos para el medio ambiente. Estos impactos deberán evaluarse en cuanto a su significancia ambiental, para proceder posteriormente a su priorización.

**PASO 2:** Cada uno de los miembros (o subgrupos) del equipo deberá aplicar sus conocimientos técnicos y experiencia, para efectuar un análisis detallado de cada uno de los impactos genéricos asignados por el director del estudio. Según se ha manifestado, la evaluación deberá hacerse por separado para los impactos positivos y negativos. A pesar de que el método MEL-ENEL acepta como válido que en todo estudio ambiental estarán presentes, en menor o mayor grado estimaciones, el especialista deberá dar su mayor esfuerzo para evaluar, al menos cualitativamente. La significancia de cada impacto genérico tomando como base las siguientes cinco características particulares, que deben evaluarse para cada impacto, a saber: Magnitud, Importancia, Extensión, Duración y Reversibilidad.

**PASO 3:** MEL-ENEL propone la elaboración de una tabla en la cual cada especialista responsable de la evaluación de uno o varios impactos genéricos (en función de su área científica y del factor ambiental afectado), elaboren un resumen de los resultados relevantes de la evaluación. Al final de cada resumen, del cual se han consignado los resultados de la evaluación (cuantitativa siempre que sea

posible) para cada característica de cada impacto, el especialista anotará una letra que califica en forma cualitativa la relevancia del impacto con respecto de su característica, de la siguiente manera: (B): bajo (M): moderado (A): alto.

**PASO 4:** Finalmente y antes de continuar con la última etapa del método, es necesario eliminar los impactos genéricos que resulten rigurosamente no significativos. Para tales fines, el método MEL-ENEL establece dos tipos de impactos no significativos: aquellos cuyas cinco características hayan sido calificadas con B, o aquellos que a lo más tengan una sola característica M y las restantes cuatro con B. Como se verá en la siguiente etapa, también será posible eliminar cualquier otro impacto que resulte no significativo.

#### **2.4.6 ETAPA VI - PRIORIZACIÓN POR SIGNIFICANCIA.**

Una vez efectuada la valoración de las diferentes características particulares de cada impacto genérico, el método MEL-ENEL con el fin de hacer una comparación todas contra todas, de los impactos genéricos, para finalmente establecer su Coeficiente de Significancia Relativa, CSR. La manera dominante del trabajo de equipo evaluador será bajo la modalidad interdisciplinaria para esta etapa.

**PASO 1:** se deberá construir una matriz cuadrada, de F filas por F columnas, en donde F es el número de impacto genéricos negativos a priorizar de acuerdo con su significancia (se recomienda que el valor máximo de F sea quince). La matriz permitirá comparar parejas de impactos, bajo la modalidad de todos contra todos, con lo cual se objetiva el proceso de calificación, que deberá efectuarse mediante trabajo interdisciplinario del equipo (todos los miembros deberán estar presentes para esta etapa). El orden en que se han colocado los impactos genéricos se mantiene, tanto en filas como en columnas. También el orden en que se decide colocar las filas es arbitrario y quedará a juicio del equipo evaluador, sin embargo, una vez elegido, deberá mantenerse idéntico en las columnas.

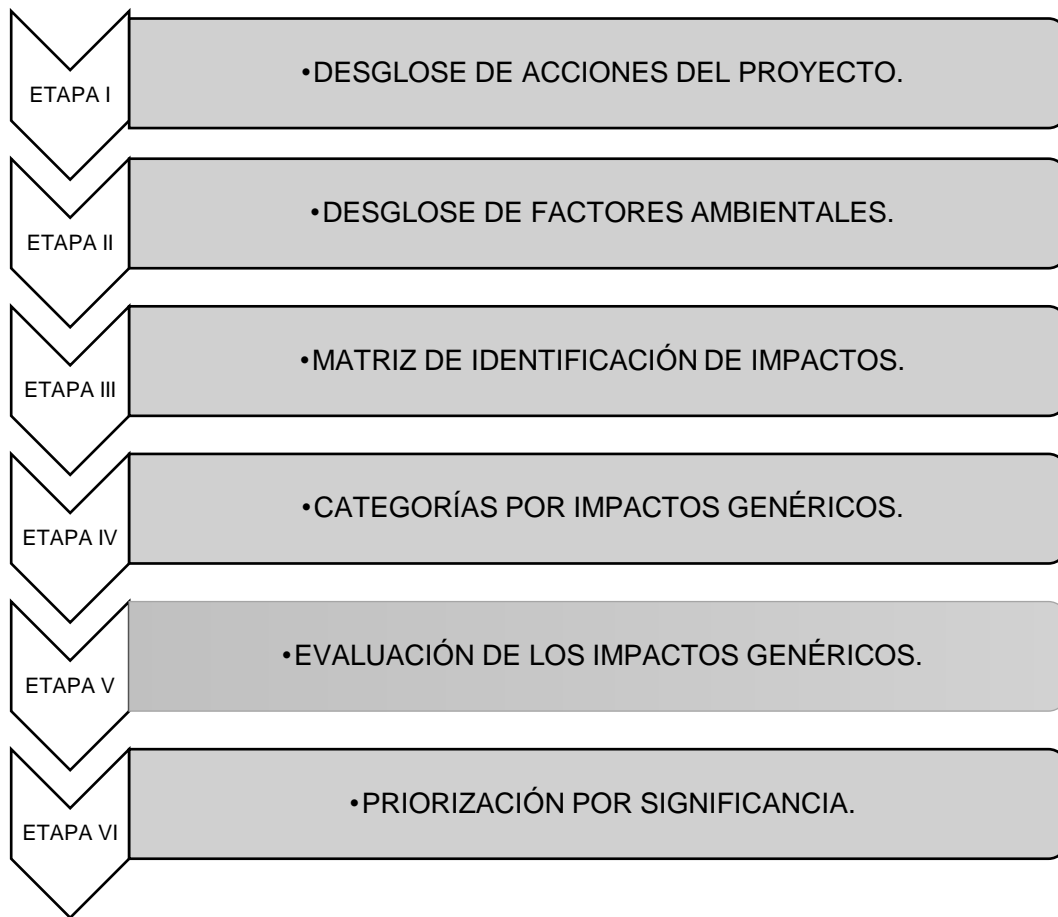
**PASO 2:** Una vez elaborada la matriz, queda definido el procedimiento para calificar el CSR mediante comparaciones de todos los impactos por parejas.

**PASO 3:** Se refiere al proceso de calificación de cada impacto genérico por parejas para obtener su significancia relativa (parcial) en función de cada una de las características evaluadas en la etapa V, con apoyo de los resultados, desarrollada en el paso 3 de la misma etapa. El método MEL-ENEL propone la distribución de 100 puntos entre cada pareja, en función de la importancia relativa de cada impacto, según las características evaluadas en la etapa V.

**PASO 4:** Consiste en el cálculo de los coeficientes de significancia relativa (totales) para cada impacto genérico, a través de los cuales se efectuará la priorización de impactos por significancia, por lo que se procede de la siguiente manera:

- a. Sumatoria de todos los coeficientes de significancia relativa parcial en forma horizontal, el valor es acumulado en cada casilla de la columna denominada SUM (suma).
- b. Una vez terminadas las sumas acumuladas, se hace la sumatoria de todos los valores en forma vertical ubicados bajo la columna denominada SUM.
- c. Finalmente, se normaliza cada valor de CSR para cada impacto genérico.

A continuación, se presenta un diagrama que resume las etapas a seguir en la metodología para evaluación de impacto ambiental a través del método MEL-ENEL.



**Figura 2.8 Diagrama Método MEL-ENEL.**

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL PARA PROCESOS DE EMULSIÓN ASFALTICA Y MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO.

A continuación, se desarrolla la metodología MEL-ENEL, siguiendo cada etapa como se describió en el capítulo 2.

#### 3.1. ETAPA I. DESGLOCE DE ACCIONES DEL PROYECTO.

En esta etapa es necesario que el equipo evaluador haga visitas respectivas al área en estudio; esto con el fin de no dejar excluida ninguna actividad asociada al proceso. Siempre teniendo en cuenta los criterios de colectividad y exclusividad.

Es importante mencionar que, en este estudio de impacto, solo se tomará en cuenta el proceso en la etapa de operación, no la de construcción debido a que el área de estudio ya se encuentra ejecutando actividades; También, en esta etapa se debe describir totalmente el proceso; pero éste ya se ha descrito en la sección 1.4 del presente documento.

Las actividades observadas más significativas se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 3.1 Desglose de actividades en la planta.**

*Fuente: Elaboración propia.*

N°	ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Ingreso de asfalto.	Recepción y almacenamiento de asfalto a altas temperaturas.
2	Almacenamiento de materia prima.	Almacenamiento de insumos como sustancias químicas utilizadas en el proceso.
3	Manejo de sustancias químicas.	Manejo de sustancias químicas en la elaboración de la solución jabonosa.
4	Almacenamiento de combustible.	Almacenamiento en tanques de queroseno para el calentamiento en el proceso.

Continúa.



**Tabla 3.1 Desglose de actividades en la planta (Continuación).**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>N°</b>	<b>ACCIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
5	Manejo de combustible.	Manejo de combustible para el calentamiento en el proceso.
6	Manejo de producto terminado a altas temperaturas.	Manejo de mezclas asfálticas a altas temperaturas cercanas a 150°C.
7	Almacenamiento de producto terminado.	Almacenamiento de producto terminado y algunos de estos a altas temperaturas.
8	Carga de producto terminado.	Carga de producto terminado a los camiones.
9	Disposición de lodos.	Disposición y manejo de residuos de mezcla asfáltica de remanentes en tanques antes de ser lavados.
10	Lavado de tanques.	Lavado de tanques donde se almacenan las mezclas asfálticas.
11	Disposición y manejo de aguas residuales.	Disposición y manejo de aguas residuales tras el lavado de tanques donde se almacenan mezclas asfálticas.
12	Movimiento de personal.	Movimiento de personal de operación de los diferentes ambientes de las instalaciones.

### **3.2. ETAPA II. DESGLOCE DE FACTORES AMBIENTALES.**

Para este desglose de los factores ambientales, se debe seguir manteniendo el criterio de colectividad y exclusividad, y es el resultado de la visita de campo que el equipo ha realizado, tomando como referencia las acciones del proyecto y las actividades involucradas en el mismo.

Los factores ambientales que se eligieron por el equipo se listan a continuación. Cabe mencionar que cada factor ambiental general descrito, absorbe componentes específicos ambientales y no todos serán tomados en cuenta. Lo que rige si uno

será o no tomado en cuenta es la matriz de identificación de impactos en la Etapa – III.

**Tabla 3.2 Desglose de factores ambientales.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>N°</b>	<b>FACTOR AMBIENTAL</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
1	Tierra y sus recursos aprovechables.	Recursos minerales, suelos aprovechables, materiales explotables y geosféricos.
2	Agua subterránea.	Calidad del agua, variación de caudal y patrón de drenaje.
3	Agua superficial.	Calidad del agua, variación de caudal e interacción con la superficie.
4	Uso y calidad del suelo.	Superficie de materia orgánica y microorganismos.
5	Atmósfera.	Tal como el aire, ruido, apariencia del aire, electromagnetismo, clima, olor, elementos de composición, tránsito vehicular, contraste arquitectónico.
6	Flora.	Árboles, arbustos, hierbas y barreras vegetales.
7	Fauna.	Insectos, animales terrestres, aves y acuifauna.
8	Socioeconómico.	Salud, seguridad, nivel de vida, servicios y recreación.

### **3.3. ETAPA III. MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.**

A continuación, se establece una matriz de factores ambientales versus actividades o acciones identificadas por el equipo. Las condiciones de la matriz se encuentran en el capítulo 2, en el apartado de “Metodología de la Evaluación del Impacto Ambiental” en la descripción de la Etapa III. Una vez elaborada la matriz, se procederá a determinar las interacciones entre las acciones del proyecto (Etapa I) y los factores ambientales (Etapa II), de la siguiente forma: revisión una a una, en forma descendente, de las interacciones entre el primer componente del proyecto y cada uno de los factores ambientales.

Posteriormente se irá numerando de forma ascendente (1, 2, 3, 4...) en las casillas donde el equipo unánimemente decide que existe algún tipo de interacción causa/efecto.

**Tabla 3.3 Matriz de identificación de impactos.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Actividades Factores	Ingreso de asfalto.	Almacenamiento de materia prima.	Manejo de sustancias químicas.	Almacenamiento de combustible.	Manejo de combustible.	Manejo de producto terminado a altas temperaturas.	Almacenamiento de producto terminado.	Carga de producto terminado.	Disposición de lodos.	Lavado de tanques.	Disposición y manejo de aguas residuales.	Movimiento de personal.
Agua subterránea.		6	11		21			35			53	
Agua superficial.		7	12		22			36	43	48	54	
Suelo.	1	8	13	17	23	29		37	44	49	55	
Calidad del aire.	2			18	24			38				
Olores.	3	9	14	19	25	30		39	45	50	56	
Ruido.					26	31		40				
Nivel de vida.	4		15		27	32		41	46	51	57	59
Salud y seguridad.	5	10	16	20	28	33	34	42	47	52	58	60

A continuación, se describirá cada impacto identificado en la matriz anterior con un nombre clave, su signo y su respectiva descripción.

**Tabla 3.4 Nombres claves de la matriz de identificación de impactos.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>N°</b>	<b>NOMBRE CLAVE</b>	<b>SIGNO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO</b>
1	Ingreso suelo.	(-)	Alteración de tierras, permeabilidad y compactación de suelo.
2	Ingreso calidad aire.	(-)	Generación de material particulado y emisiones gaseosas.
3	Ingreso olores.	(-)	Provocación de olores.
4	Ingreso nivel de vida.	(+)	Generación de fuentes de empleo para recepción de material para proceso de producción.
5	Ingreso salud.	(-)	Posibles accidentes que afecten la salud de quienes reciben el material.
6	Almacenamiento agua subterránea.	(-)	Alteración del manto freático por químicos en efluente a causa de derrames.
7	Almacenamiento agua superficial.	(-)	Contaminación de efluentes.
8	Almacenamiento suelo.	(-)	Alteración del suelo por derrame de químicos.
9	Almacenamiento olores.	(-)	Provocación de olores tóxicos debido a sustancias volátiles.
10	Almacenamiento salud.	(-)	Personal con problemas de salud a causa de contacto con químicos por derrame o manipulación de los mismos.
11	Manejo agua subterránea.	(-)	Alteración del manto freático.
12	Manejo agua superficial.	(-)	Contaminación de efluentes.
13	Manejo suelo.	(-)	Alteración de suelo por derrame en proceso de producción.
14	Manejo olores.	(-)	Problemas respiratorios en trabajadores por olores tóxicos en manejo de ácidos.
15	Manejo nivel de vida.	(+)	Creación de fuentes de empleo.
16	Manejo salud.	(-)	Personal con problemas de salud, probabilidad de accidentes.

Continua.

**Tabla 3.4 Nombres claves de la matriz de identificación de impactos**  
(Continuación).

Fuente: Elaboración propia

N°	NOMBRE CLAVE	SIGNO	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO
17	Combustible suelo.	(-)	Alteración de suelo por derrame de hidrocarburos.
18	Combustible aire.	(-)	Emisiones de CO <sub>2</sub> y compuestos orgánicos volátiles.
19	Combustible olores.	(-)	Provocación de olores.
20	Almacenamiento salud.	(-)	Riesgo de incendio.
21	Manejo combustible agua subterránea.	(-)	Alteración de mantos acuíferos por filtración de derrames.
22	Manejo combustible agua superficial.	(-)	Permeabilidad del suelo, alteración de fuentes de agua por derrames.
23	Manejo combustible suelo.	(-)	Alteración del suelo por material derramado no degradable.
24	Manejo combustible calidad aire.	(-)	Generación de sustancias nocivas y gases contaminantes por quema de combustible.
25	Manejo combustible olores.	(-)	Provocación de olores en la combustión.
26	Manejo combustible ruido.	(-)	Generación de ruido por quemador de combustible.
27	Manejo combustible nivel de vida.	(+)	Generación de fuentes de empleo.
28	Manejo combustible salud.	(-)	Posible accidente en sistemas comburentes y sustancias tóxicas por quema.
29	Manejo producto terminado suelo.	(-)	Contaminación de suelo por posibles derrames de material caliente.
30	Manejo producto terminado olores.	(-)	Producción de olores en mezcla de producto terminado.
31	Manejo producto terminado ruido.	(-)	Generación de ruido por bombas de transporte.
32	Manejo producto terminado nivel de vida.	(+)	Generación de fuentes de empleo.
33	Manejo producto terminado salud.	(-)	Posible accidente por derrame de producto químico a alta temperatura.

Continua.

**Tabla 3.4 Nombres claves de la matriz de identificación de impactos**  
(Continuación).

Fuente: Elaboración propia

N°	NOMBRE CLAVE	SIGNO	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO
34	Almacenamiento producto terminado salud.	(-)	Posible accidente por recipiente de almacenamiento no aislado a alta temperatura.
35	Carga de producto terminado agua subterránea.	(-)	Cambio en manto friático por posible derrame de producto terminado.
36	Carga de producto terminado agua superficial.	(-)	Permeabilidad del suelo, cambio en fuentes superficiales por posible derrame.
37	Carga de producto terminado suelo.	(-)	Posible derrame de mezcla química no degradable.
38	Carga de producto terminado calidad de aire.	(-)	Emanación de gases producto de la mezcla química y su fluidización.
39	Carga de producto terminado olores.	(-)	Producción de olores producto de la mezcla química.
40	Carga ruido.	(-)	Afectación a la salud humana a causa del ruido de la maquinaria.
41	Carga nivel de vida.	(+)	Generación de fuentes de empleo para control de la maquinaria.
42	Carga salud.	(-)	Afectación a la salud humana, en este caso a la de los trabajadores encargados del uso de la maquinaria.
43	Lodos agua superficial.	(-)	Contaminación de las aguas superficiales como consecuencia del lodo remanente en los tanques de mezcla.
44	Lodos suelo.	(-)	Afectación a la calidad del suelo como consecuencia del contacto directo con el lodo remanente en los tanques de mezcla.
45	Lodos olor.	(-)	Afectación a la salud humana a causa del olor proveniente del lodo remanente en los tanques de mezcla.

Continúa.

**Tabla 3.4 Nombres claves de la matriz de identificación de impactos**  
(Continuación).

Fuente: Elaboración propia

<b>N°</b>	<b>NOMBRE CLAVE</b>	<b>SIGNO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO</b>
46	Lodos nivel de vida.	(+)	Generación de fuentes de empleo para retirar el lodo remanente en los tanques de mezcla.
47	Lodos salud.	(-)	Afectación a la salud humana, en este caso a la de los trabajadores encargados de retirar el lodo remanente en los tanques de mezcla.
48	Lavado agua superficial.	(-)	Contaminación de las aguas superficiales como consecuencia del lavado de tanques de mezcla.
49	Lavado suelo.	(-)	Afectación a la calidad del suelo como consecuencia del contacto directo del agua de lavado.
50	Lavado olor.	(-)	Afectación al bienestar humano a causa del olor proveniente de los tanques al momento del lavado.
51	Lavado nivel de vida.	(+)	Generación de fuentes de empleo para lavar los tanques de mezcla.
52	Lavado salud.	(-)	Afectación a la salud humana, en este caso a la de los trabajadores encargados del lavado de tanques de mezcla.
53	Manejo residual agua subterránea.	(-)	Modificación en el caudal y contaminación de aguas negras a causa del agua residual proveniente del proceso.
54	Manejo residual agua superficial.	(-)	Contaminación de aguas superficiales a causa del contacto con las residuales provenientes del proceso.
55	Manejo residual suelo.	(-)	Afectación a la calidad del suelo de calles aledañas a causa del agua residual proveniente del lavado de tanques.

Continua.

**Tabla 3.4 Nombres claves de la matriz de identificación de impactos**  
(Continuación).

*Fuente: Elaboración propia*

N°	NOMBRE CLAVE	SIGNO	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO
56	Manejo olor.	(-)	Afectación a la salud humana a causa del olor proveniente de materia en descomposición en aguas residuales provenientes del proceso.
57	Manejo nivel de vida.	(+)	Generación de fuentes de empleo para la disposición y manejo de aguas residuales provenientes del proceso.
58	Manejo salud.	(-)	Afectación a la salud humana, en este caso a la de los trabajadores encargados de la disposición y manejo de las aguas residuales provenientes del proceso.
59	Personal nivel de vida.	(+)	Generación de fuentes de empleo para cubrir todas las actividades requeridas en el proceso de producción.
60	Personal salud.	(-)	Afectación a la salud humana, en este caso a la de los trabajadores que realizan actividades pertinentes en el proceso de producción.

### 3.4. ETAPA IV. CATEGORÍAS POR IMPACTOS GENÉRICOS.

A continuación, todos los impactos identificados y descritos en el paso anterior deberán ser agrupados según el común denominador; es decir, clasificarlos según una característica principal. Dichas características las escogen en común acuerdo el grupo evaluador.

**Tabla 3.5 Categorización por impactos genéricos.**

*Fuente: Elaboración propia.*

N°	NOMBRE CLAVE	SIGNO	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO
<b>Impacto genérico 1: Suelo</b>			
1	Ingreso suelo.	(-)	Alteración de tierras, permeabilidad y compactación de suelo.
8	Almacenamiento suelo.	(-)	Alteración del suelo por derrame de químicos.

Continua.



**Tabla 3.5 Categorización por impactos genéricos (Continuación).**

*Fuente: Elaboración propia*

N°	NOMBRE CLAVE	SIGNO	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO
<b>Impacto genérico 1: Suelo</b>			
13	Manejo suelo.	(-)	Alteración de suelo por derrame en proceso de producción.
17	Combustible suelo.	(-)	Alteración de suelo por derrame de hidrocarburos.
23	Manejo combustible suelo.	(-)	Alteración del suelo por material derramado no degradable.
29	Manejo producto terminado suelo.	(-)	Contaminación de suelo por posibles derrames de material caliente.
37	Carga de producto terminado suelo.	(-)	Posible derrame de mezcla química no degradable.
44	Lodos suelo.	(-)	Afectación a la calidad del suelo como consecuencia del contacto directo con el lodo remanente en los tanques de mezcla.
49	Lavado suelo.	(-)	Afectación a la calidad del suelo como consecuencia del contacto directo del agua de lavado.
55	Manejo residual suelo.	(-)	Afectación a la calidad del suelo de calles aledañas a causa del agua residual proveniente del lavado de tanques.
<b>Impacto genérico 2: Atmósfera</b>			
2	Ingreso calidad aire.	(-)	Generación de material particulado y emisiones gaseosas.
3	Ingreso olores.	(-)	Provocación de olores.
9	Almacenamiento olores.	(-)	Provocación de olores tóxicos debido a sustancias volátiles.
14	Manejo olores.	(-)	Problemas respiratorios en trabajadores por olores tóxicos en manejo de ácidos.
18	Combustible aire.	(-)	Emisiones de CO <sub>2</sub> y compuestos orgánicos volátiles.
19	Combustible olores.	(-)	Provocación de olores.

Continua.

**Tabla 3.5 Categorización por impactos genéricos (Continuación).**

*Fuente: Elaboración propia*

N°	NOMBRE CLAVE	SIGNO	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO
<b>Impacto genérico 2: Atmósfera</b>			
24	Manejo combustible calidad aire.	(-)	Generación de sustancias nocivas y gases contaminantes por quema de combustible.
25	Manejo combustible olores.	(-)	Provocación de olores en la combustión.
26	Manejo combustible ruido.	(-)	Generación de ruido por quemador de combustible.
30	Manejo producto terminado olores.	(-)	Producción de olores en mezcla de producto terminado.
31	Manejo producto terminado ruido.	(-)	Generación de ruido por bombas de transporte.
38	Carga de producto terminado calidad de aire.	(-)	Emanación de gases producto de la mezcla química y su fluidización.
39	Carga de producto terminado olores.	(-)	Producción de olores producto de la mezcla química.
40	Carga ruido.	(-)	Afectación a la salud humana a causa del ruido de la maquinaria.
45	Lodos olor.	(-)	Afectación a la salud humana a causa del olor proveniente del lodo remanente en los tanques de mezcla.
50	Lavado olor.	(-)	Afectación al bienestar humano a causa del olor proveniente de los tanques al momento del lavado.
56	Manejo olor.	(-)	Afectación a la salud humana a causa del olor proveniente de materia en descomposición en aguas residuales provenientes del proceso.
<b>Impacto genérico 3: Calidad de agua</b>			
6	Almacenamiento agua subterránea.	(-)	Alteración del manto freático por químicos en efluente a causa de derrames.
7	Almacenamiento agua superficial.	(-)	Contaminación de efluentes.
11	Manejo agua subterránea.	(-)	Alteración del manto freático.

Continua.

**Tabla 3.5 Categorización por impactos genéricos (Continuación).**

*Fuente: Elaboración propia*

N°	NOMBRE CLAVE	SIGNO	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO
<b>Impacto genérico 3: Calidad de agua</b>			
12	Manejo agua superficial.	(-)	Contaminación de efluentes.
21	Manejo combustible agua subterránea.	(-)	Alteración de mantos acuíferos por filtración de derrames.
22	Manejo combustible agua superficial.	(-)	Permeabilidad del suelo, alteración de fuentes de agua por derrames.
35	Carga de producto terminado agua subterránea.	(-)	Cambio en manto frático por posible derrame de producto terminado.
36	Carga de producto terminado agua superficial.	(-)	Permeabilidad del suelo, cambio en fuentes superficiales por posible derrame.
43	Lodos agua superficial.	(-)	Contaminación de las aguas superficiales como consecuencia del lodo remanente en los tanques de mezcla.
48	Lavado agua superficial.	(-)	Contaminación de las aguas superficiales como consecuencia del lavado de tanques de mezcla.
53	Manejo residual agua subterránea.	(-)	Modificación en el caudal y contaminación de aguas negras a causa del agua residual proveniente del proceso.
54	Manejo residual agua superficial.	(-)	Contaminación de aguas superficiales a causa del contacto con las residuales provenientes del proceso.
<b>Impacto genérico 4: Salud y seguridad</b>			
5	Ingreso salud.	(-)	Posibles accidentes que afecten la salud de quienes reciben el material.
10	Almacenamiento salud.	(-)	Personal con problemas de salud a causa de contacto con químicos por derrame o manipulación de los mismos.
16	Manejo salud.	(-)	Personal con problemas de salud, probabilidad de accidentes.
20	Almacenamiento salud.	(-)	Riesgo de incendio.

Continua.

**Tabla 3.5 Categorización por impactos genéricos (Continuación).**

Fuente: Elaboración propia

N°	NOMBRE CLAVE	SIGNO	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO
<b>Impacto genérico 4: Salud y seguridad</b>			
28	Manejo combustible salud.	(-)	Posible accidente en sistemas comburentes y sustancias tóxicas por quema.
33	Manejo producto terminado salud.	(-)	Posible accidente por derrame de producto químico a alta temperatura.
34	Almacenamiento producto terminado salud.	(-)	Posible accidente por recipiente de almacenamiento no aislado a alta temperatura.
42	Carga salud.	(-)	Afectación a la salud humana, en este caso a la de los trabajadores encargados del uso de la maquinaria.
47	Lodos salud.	(-)	Afectación a la salud humana, en este caso a la de los trabajadores encargados de retirar el lodo remanente en los tanques de mezcla.
52	Lavado salud.	(-)	Afectación a la salud humana, en este caso a la de los trabajadores encargados del lavado de tanques de mezcla.
58	Manejo salud.	(-)	Afectación a la salud humana, en este caso a la de los trabajadores encargados de la disposición y manejo de las aguas residuales provenientes del proceso.
60	Personal salud.	(-)	Afectación a la salud humana, en este caso a la de los trabajadores que realizan actividades pertinentes en el proceso de producción.
<b>Impacto genérico 5: Socioeconómico</b>			
4	Ingreso nivel de vida.	(+)	Generación de fuentes de empleo para recepción de material para proceso de producción.
15	Manejo nivel de vida.	(+)	Creación de fuentes de empleo.
27	Manejo combustible nivel de vida.	(+)	Generación de fuentes de empleo.

Continua.

**Tabla 3.5 Categorización por impactos genéricos (Continuación).**

*Fuente: Elaboración propia*

N°	NOMBRE CLAVE	SIGNO	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO
<b>Impacto genérico 5: Socioeconómico</b>			
32	Manejo producto terminado nivel de vida.	(+)	Generación de fuentes de empleo.
41	Carga nivel de vida.	(+)	Generación de fuentes de empleo para control de la maquinaria.
46	Lodos nivel de vida.	(+)	Generación de fuentes de empleo para retirar el lodo remanente en los tanques de mezcla.
51	Lavado nivel de vida.	(+)	Generación de fuentes de empleo para lavar los tanques de mezcla.
57	Manejo nivel de vida.	(+)	Generación de fuentes de empleo para la disposición y manejo de aguas residuales provenientes del proceso.
59	Personal nivel de vida.	(+)	Generación de fuentes de empleo para cubrir todas las actividades requeridas en el proceso de producción.

Seguidamente se presenta un cuadro resumen según la categorización de impactos de la tabla anterior.

**Tabla 3.6 Resumen de categorización por impactos genéricos.**

*Fuente: Elaboración propia.*

IMPACTO GENÉRICO	NÚMEROS	DESCRIPCIÓN
Suelo (-)	1, 8, 13, 17, 23, 29, 37, 44, 49 y 55.	Alteración y daño en la calidad del suelo en el área de producción.
Atmósfera (-)	2, 3, 9, 14, 18, 19, 24, 25, 26, 30, 31, 38, 39, 40, 45, 50 y 56.	Generación de ruido, olores y emisiones de gases provocados por el proceso de producción.
Calidad de agua (-)	6, 7, 11, 12, 21, 22, 35, 36, 43, 48, 53 y 54.	Alteración en la calidad de aguas superficiales y subterráneas.
Salud y seguridad (-)	5, 10, 16, 20, 28, 33, 34, 42, 47, 52, 58 y 60.	Afectación a la salud y seguridad humana del personal de la planta.
Socioeconómico (+)	4, 15, 27, 32, 41, 46, 51, 57 y 59.	Generación de fuentes de empleos.

Como puede observarse, el impacto genérico 5 es positivo; por lo que puede excluirse en la siguiente etapa.

### 3.5. ETAPA V. EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS GENÉRICOS.

Antes de continuar, es necesario eliminar los impactos genéricos que resulten rigurosamente no significativos. Para tales fines, el método MEL-ENEL establece que dos tipos de impactos no son significativos cuando: aquellos cuyas cinco características hayan sido calificadas con B, o aquellos que al menos tengan una sola característica M y las restantes cuatro con B. Como se verá en la siguiente etapa, también será posible eliminar cualquier otro impacto que resulte no significativo.

**Tabla 3.7 Evaluación de impactos genéricos.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>IMPACTO GENÉRICO</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Importancia</b>	<b>Extensión</b>	<b>Duración</b>	<b>Reversibilidad</b>
Suelo	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
Atmósfera	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>M</b>
Calidad de agua	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
Salud y seguridad	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>B</b>

Nomenclatura: (A) Alto, (M) Moderado y (B) Bajo.

Ninguno de los impactos evaluados, cumple con el criterio de no significancia; es decir, que todos se deben de incluir en la etapa siguiente.

### 3.6. ETAPA VI. PRIORIZACIÓN POR SIGNIFICANCIA.

Una vez efectuada la valoración de las diferentes características particulares de cada impacto genérico, el método MEL-ENEL con el fin de hacer una comparación todas contra todas, de los impactos genéricos, para finalmente establecer su Coeficiente de Significancia Relativa (CSR). Para hacerlo, es necesario la

elaboración de una matriz de todos los impactos a evaluar considerados en la etapa anterior como significativos; dichos impactos irán tanto en las filas como en las columnas; es este caso resulta de la siguiente manera:

**Tabla 3.8 Matriz CSR (Creación de parejas).**

*Fuente: Elaboración propia.*

	Suelo	Atmósfera	Calidad de agua	Salud y seguridad
Suelo				
Atmósfera				
Calidad de agua				
Salud y seguridad				

Una vez elaborada la matriz, se procede a calificar los impactos por parejas; es decir, por la permutación de cada uno de los impactos verticales versus los horizontales. Cada pareja debe de asignárseles una calificación de 0 a 100, tal que horizontalmente sumen 100.

**Tabla 3.9 Calificación de impactos por características**

*Fuente: Elaboración propia.*

CRITERIO	Suelo	Atmósfera	Suelo	Calidad de agua	Suelo	Salud y seguridad	Atmósfera	Calidad de agua	Atmósfera	Salud y seguridad	Calidad de agua	Salud y seguridad
Magnitud	30	70	40	60	30	70	70	30	65	35	60	40
Importancia	20	80	15	85	40	60	60	40	60	40	50	50
Duración	60	40	60	40	75	25	50	50	75	25	75	25
Extensión	5	95	20	80	10	90	65	35	95	5	80	20
Reversibilidad	50	50	60	40	50	50	50	50	90	10	90	10
<b>TOTAL</b>	<b>165</b>	<b>335</b>	<b>195</b>	<b>305</b>	<b>205</b>	<b>295</b>	<b>295</b>	<b>205</b>	<b>385</b>	<b>115</b>	<b>355</b>	<b>145</b>

Luego se procede a calcular el CSR, dividiendo cada total de cada columna entre la suma de los totales de cada pareja. Por ejemplo, para calcular los CSR de la primera pareja de impactos (color anaranjado) se calcula como sigue:

$$CSR = \frac{165}{165 + 335} = 0.33$$

$$CSR = \frac{335}{165 + 335} = 0.67$$

La sumatoria de ambos debe de dar como resultado la unidad para cada caso. Continuando con los cálculos respectivos, se obtiene:

**Tabla 3.10. Matriz de CSR**

*Fuente: Elaboración propia.*

	Suelo	Atmósfera	Calidad de agua	Salud y seguridad
Suelo		0.33	0.39	0.41
Atmósfera	0.67		0.59	0.77
Calidad de agua	0.61	0.41		0.71
Salud y seguridad	0.59	0.23	0.29	

Ahora es necesario calcular los porcentajes de la matriz de CSR. Para ello, se debe de hacer una sumatorio de forma horizontal por cada fila de la matriz. Una vez obtenidas todas las sumatorias; se calcula una nueva suma de forma vertical con todos los totales de las sumatorias anteriormente calculadas.

Para calcular el CSR total, se debe de dividir cada suma obtenida horizontalmente entre la suma total vertical (la última que se calculó). Al mayor valor de CSR total, se le asignará el valor del 100%. A continuación, se procede a normalizar los porcentajes de cada CSR total con una regla de tres directa.



**Tabla 3.11. Cálculo de porcentajes (%) de la matriz de CSR.**

*Fuente: Elaboración propia.*

	Suelo	Atmósfera	Calidad de agua	Salud y seguridad	SUMA	CSR	PORCENTAJE
Suelo		0.33	0.39	0.41	1.13	0.1883	55.66%
Atmósfera	0.67		0.59	0.77	2.03	0.3383	100%
Calidad de agua	0.61	0.41		0.71	1.73	0.2883	85.22%
Salud y seguridad	0.59	0.23	0.29		1.11	0.1850	54.69%
					6.00	1.0000	

Con base a la matriz antes planteada se identifica que el impacto genérico con mayor preponderancia es el asociado a la atmósfera, donde a través de las propuestas de mejora generadas a través de la metodología de PML, se buscará reducir las emisiones a la atmósfera por parte del proceso productivo, tanto directas como indirectas.

#### **4. DESARROLLO DE METODOLOGÍA DE PML PARA PROCESOS DE EMULSIÓN ASFALTICA Y MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO.**

Para implementar las técnicas de producción más limpia en la empresa ejemplo, se seguirá la metodología comprendida por cinco etapas fundamentales descritas en el capítulo 2 en la sección 2.3.

##### **4.1. ETAPA I. PLANEACIÓN Y ORGANIZACIÓN.**

Para la realización de esta etapa se visitó la empresa ejemplo con el objetivo de obtener la aprobación de la gerencia y coordinar el desarrollo de las actividades presentadas en la metodología. Así también, para presentar los objetivos y metas que tiene el estudio a realizar y solventar dudas referentes a ellos.

Se habló sobre los beneficios económicos y ambientales que la aplicación de técnicas de producción más limpia podría generar en la empresa. De igual manera, se identificaron las barreras que el inicio de la metodología de PML podría presentar, así como algunas soluciones a dichos obstáculos; Las actividades que se realizaron en esta primera etapa son las siguientes.

### **Actividad 1. Obtener compromiso de la gerencia.**

Para esta actividad fue necesario establecer comunicación directa con el personal de la planta para plantearles los objetivos que se deseaban alcanzar al llevar a cabo este estudio. Lo que se busca de esta actividad es convencer a la gerencia de la necesidad y de los beneficios que el programa de producción más limpia representa para su propia empresa; tanto económicos como ambientales.

Para llegar a este acuerdo, se programaron reuniones entre el equipo evaluador y la gerencia para plantear de forma clara todo lo asociado al desarrollo de la auditoría energética. Es necesario que la gerencia entienda cuáles son los objetivos y metas que se quieren alcanzar si se implementaran las medidas preventivas de PML. En dichas reuniones se establecieron todas aquellas fuentes de información en las que el equipo evaluador tiene acceso. El compromiso de la gerencia no solo se trata de proporcionar la información, sino, comprometerse ellos mismos al seguimiento del programa de PML. Estimular la participación de los empleados es de vital importancia.

### **Actividad 2. Organizar el equipo del proyecto de PML.**

Se sabe que las visitas de campo, la recolección de datos, el procesamiento de datos, las propuestas de mejoras, estimaciones de beneficios económicos y ambientales, evaluación de rentabilidad, entre otras, son actividades a cargo del equipo evaluador. Sin embargo, el seguimiento de las actividades referentes al

programa de PML debe ser llevada a cabo por los mismos empleados de la planta; es decir, el éxito de dicho programa depende del grado de compromiso que adopten cada uno de los empleados.

Para la organización del equipo, fue necesario programar reuniones con diferentes empleados de distintas áreas (contabilidad, laboratorios, producción, etc.) para que cada uno de ellos exteriorizara los problemas asociados a las zonas donde ellos desempeñan labores. Una de las formas para estimular la participación en estos programas es el involucramiento de las partes; haciendo conciencia de los beneficios económicos y ambientales que se pueden alcanzar al estar comprometidos en el programa de PML.

### **Actividad 3. Definir las metas de PML.**

#### **Metas a corto plazo.**

- a) Identificar aspectos de mejora en el proceso productivo.
- b) Establecer indicadores de producción como línea base para el desarrollo de metodología de producción más limpia.
- c) Planteamiento de propuestas de mejora.

#### **Metas a largo plazo.**

- a) Implementación de propuestas de mejora.
- b) Monitoreo de propuestas implementadas.
- c) Recuperación de inversiones realizadas en base a ahorros proyectados.

Entre las metas a alcanzar con la aplicación de la metodología se encuentra reducir el porcentaje de consumo eléctrico en las áreas de mayor consumo y disminuir el impacto ambiental generado por las actividades de la empresa, esto como metas principales que a su vez conlleva la presentación de los posibles beneficios económicos y ambientales en función de la información proporcionada por área de mejora identificada.

#### **Actividad 4. Identificar barreras y soluciones.**

A partir de las condiciones actuales de la empresa desde el área administrativa hasta planta, y con la información y las entrevistas realizadas al personal, se identificaron los obstáculos presentados en la siguiente tabla.

**Tabla 4.1 Obstáculos identificados en la empresa.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Obstáculos.</b>	<b>Situación.</b>	<b>Solución.</b>
De información.	Falta de información accesible de los consumos de combustible y producción de la empresa.	Estimar datos a partir de los datos disponibles y generar relaciones de proporcionalidad para hacer una aproximación a los datos reales.
Institucionales.	Resistencia al cambio.	Interesar al personal mostrándole los beneficios ambientales y económicos que pueden generarse.
Tecnológicos.	Incapacidad de adecuar la tecnología.	Mostrar ejemplos de propuestas similares en otras empresas, donde se ha podido adecuar la tecnología y ha habido beneficios considerables.
Financieros.	Falta de recursos.	Estimar pérdidas económicas y mostrar ahorros a obtener implementado técnicas de PML.

#### **4.2. ETAPA II. PRE-EVALUACIÓN.**

Se describe el proceso de producción e identifican áreas de mayor consumo energético eléctrico y térmico, por medio de visitas técnicas en las instalaciones.

El consumo eléctrico de la empresa está dividido en el área de motores, aires acondicionados y luminarias; y para el caso del consumo térmico este está ligado al consumo de queroseno en la preparación de emulsiones asfálticas.

#### 4.2.1. DESCRIPCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE LA EMPRESA.

##### a. Contratación.

La empresa tiene un contrato para el suministro de energía, en tarifa GD2-MT con Med. Hor. (Gran demanda, uso general en media tensión, tarifa horaria). El consumo de energía eléctrica (kWh) se factura en función del horario de consumo bajo la siguiente clasificación y precios de la energía eléctrica.

**Tabla 4.2 Distribución de precios de energía eléctrica en función de horario de consumo.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Horario</b>	<b>Precio promedio anual</b>
Punta: 18:00 a 22:59	Precio: 0.107159 US\$/kWh
Valle: 23:00 a 04:59	Precio: 0.102177 US\$/kWh
Resto: 05:00 a 17:59	Precio: 0.107267 US\$/kWh

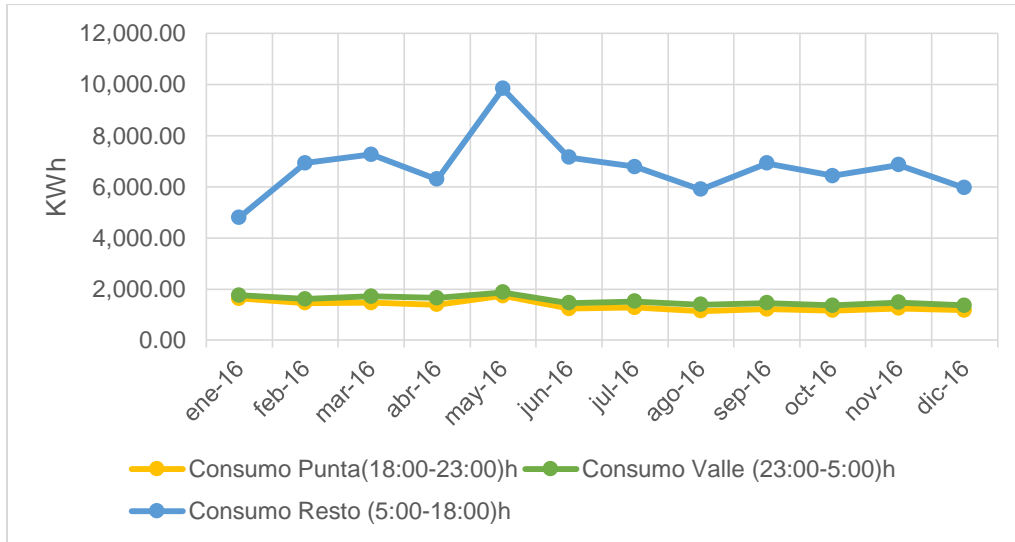
##### b. Datos de consumo.

En la siguiente tabla se presenta el historial de la facturación eléctrica para el periodo de estudio de un año comprendido de **enero 2016- diciembre 2016**. La misma contiene el periodo facturado, el consumo de energía eléctrica (kWh) en punta, valle, resto, consumo total de energía y la demanda facturada de la planta de producción y área administrativa que complementan el proceso de fabricación de emulsiones y mezclas.

**Tabla 4.3 Historial de facturación eléctrica de la empresa.**

*Fuente: Facturación eléctrica de la empresa.*

PERÍODO DE FACTURACIÓN				CONSUMO KWH			
Mes	Desde	Hasta	Cantidad de días	Consumo Punta (18:00 - 22:59 H) kWh	Consumo Valle (23:00 - 04:59 H) kWh	Consumo Resto (05:00 - 17:59 H) kWh	Consumo Total (KWh)
ene-16	04/01/2016	03/02/2016	31	1,632.00	1,762.00	4,799.00	8,193.00
feb-16	03/02/2016	04/03/2016	30	1,453.00	1,616.00	6,934.00	10,003.00
mar-16	04/03/2016	04/04/2016	30	1,462.00	1,713.00	7,267.00	10,442.00
abr-16	04/04/2016	05/05/2016	31	1,389.00	1,648.00	6,293.00	9,330.00
may-16	05/05/2016	04/06/2016	31	1,738.00	1,868.00	9,841.00	13,447.00
jun-16	04/06/2016	05/07/2016	30	1,234.00	1,453.00	7,146.00	9,833.00
jul-16	05/07/2016	04/08/2016	31	1,275.00	1,518.00	6,780.00	9,573.00
ago-16	04/08/2016	03/09/2016	30	1,145.00	1,397.00	5,903.00	8,445.00
sep-16	03/09/2016	03/10/2016	30	1,218.00	1,453.00	6,918.00	9,589.00
oct-16	03/10/2016	03/11/2016	30	1,161.00	1,364.00	6,431.00	8,956.00
nov-16	03/11/2016	03/12/2016	31	1,250.00	1,478.00	6,853.00	9,581.00
dic-16	03/12/2016	03/01/2017	30	1,177.00	1,356.00	5,960.00	8,493.00
<b>PROMEDIO (mensual)</b>				1,344.50	1,552.17	6,760.42	9,657.08
<b>TOTAL (anual)</b>				16,134.00	18,626.00	81,125.00	115,885.00

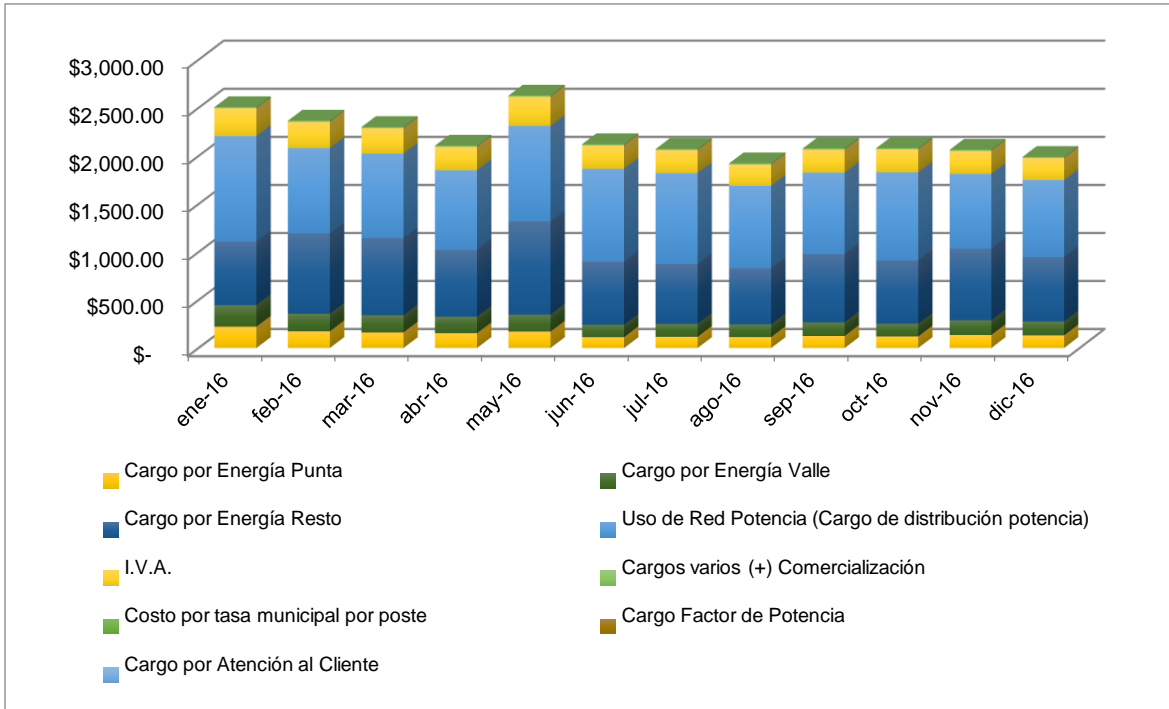


**Figura 4.1 Gráfico del historial de consumo kWh por mes en la empresa.**

*Fuente: Elaboración propia.*

De manera general, se puede describir que la empresa en su totalidad posee un consumo anual de **115,885 kWh/año** lo que da un promedio mensual de **9,657.08 kWh/mes.**

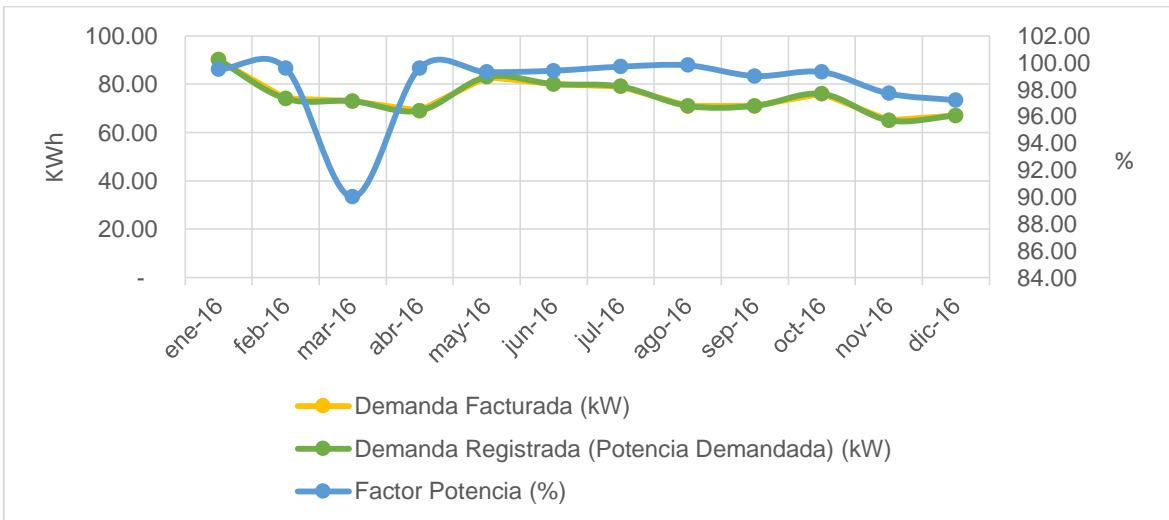
El gráfico siguiente describe el desglose de la facturación eléctrica, de acuerdo con este los mayores costos se dan en el horario denominado Resto, (05:00 – 17:59 h) el cual representa el 70 % de la estructura del costo de la factura eléctrica; seguido del horario Valle (23:00-4:59 h) con un 16.1 % de consumo y de igual manera el horario Punta (18:00 a 22:59 h) con 13.9 % del consumo total.



**Figura 4.2 Gráfico de desglose de facturación de energía eléctrica.**

Fuente: Elaboración propia.

El gráfico que sigue resume las demandas registradas y el factor de potencia de acuerdo con la facturación de los datos de consumo eléctrico de la empresa ejemplo.



**Figura 4.3 Gráfica de demanda registrada y factor de potencia.**

Fuente: Elaboración propia.



La empresa paga por concepto de energía eléctrica un promedio de **2,185.74 US\$/mes**, que representa un pago anual por **US\$ 26,228.94 kWh/año** entre los costos asociados en dichas facturaciones se encuentran, los costos por la tasa municipal, uso de red de potencia, y los diferentes cargos por horario de consumo de energía eléctrica, además del IVA, entre otros (véase la Figura 4.2).

La importancia de un entendimiento claro de la forma en que se factura la energía eléctrica, permitirá identificar alternativas para reducir su costo, asociados a la estructura tarifaria nacional vigente es decir pliegos tarifarios; Además, es importante saber que existe penalización (multa) por bajo factor de potencia, ya que las empresas distribuidoras tienen un estandar de multas por factores de potencia inferiores a 90%, ya que es de esa manera que se cubren por daños que le puedan crear a sus equipos.

#### **4.2.2. DESCRIPCIÓN DEL CONSUMO TÉRMICO DE LA EMPRESA.**

La empresa utiliza queroseno para la producción de emulsiones asfálticas; por lo que es necesario quemar cantidades considerables para mantener a la temperatura requerida el asfalto que funge como materia prima para las emulsiones.

A continuación, se presenta en la siguiente tabla un resumen del consumo promedio mensual, anual y sus costos promedios respectivamente además del costo por unidad de combustible extraídos de la información proporcionada por la empresa ejemplo.

**Tabla 4.4 Datos de consumo de combustible.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Concepto</b>	<b>Queroseno (gal)</b>	<b>Queroseno (US\$)</b>
Consumo Promedio Mensual	260.87	-
Consumo Promedio Anual	3,130.46	-
Costo mensual promedio	-	641.74
Costo anual promedio	-	7,700.93
Costo promedio por galón	-	2.50

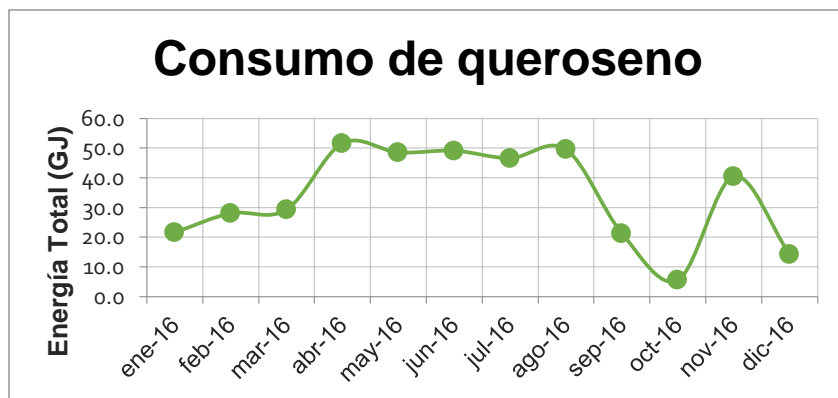
En la tabla siguiente 4.5, se presenta una breve descripción del consumo de energía térmica empleado en las instalaciones de la empresa para el periodo de análisis (enero 2016- diciembre 2016), que se obtiene a través del volumen de queroseno consumido y el poder calorífico (PC) asociado a dicho combustible.

**Tabla 4.5 Historia de consumo de combustible y energía de la empresa.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Mes</b>	<b>Queroseno (Galones)</b>	<b>Energía Total (GJ)</b>
ene-16	166.7	21.6
feb-16	216.31	28.1
mar-16	225.91	29.3
abr-16	398.23	51.6
may-16	374.42	48.6
jun-16	379.01	49.2
jul-16	359.5	46.4
ago-16	382.13	49.6
sep-16	163.76	21.2
oct-16	42.97	5.6
nov-16	312.17	40.5
dic-16	109.35	14.2
<b>PROMEDIO (Mensual)</b>	<b>260.87</b>	<b>33.83</b>
<b>TOTAL (Anual)</b>	<b>3,130.46</b>	<b>405.97</b>

En la figura siguiente 4.4, se puede observar la tendencia y/o consumo de queroseno que la empresa utiliza para el periodo de análisis.



**Figura 4.4 Comportamiento del consumo de combustible expresado en Giga Joule de energía.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede observar en el gráfico anterior hubo una disminución en el consumo de queroseno en el mes de octubre de 2016, con un valor aproximado de 5.6 galones consumidos, observándose para el período comprendido de abril a agosto una tendencia más o menos constante arriba de los 300 galones de queroseno mensuales lo que se traduce en más de 40 GJ de energía. El promedio de consumo es de 260.87 galones de queroseno mensuales, con un consumo hasta la fecha (12 meses en estudio) de 3,120.46 galones, generando un gasto total de \$7,700.93, equivalentes a un promedio de \$641.74 dólares mensuales por energía térmica en la empresa.

#### **4.2.3. INDICADORES ENERGÉTICOS.**

En el presente capítulo se describen los principales indicadores energéticos calculados para la empresa en función de su producción; dichos indicadores son de gran utilidad para definir la línea base o punto de partida de la empresa y a partir de esto definir estrategias y metas enfocadas a reducir y/u optimizar el consumo de energía en la empresa.

El indicador energético se tomó en base a la cantidad de emulsión asfáltica y mezcla asfáltica en frío producida en un año (2016).

Cabe mencionar que la producción no es constante ya que es en función de los pedidos que la empresa obtiene.

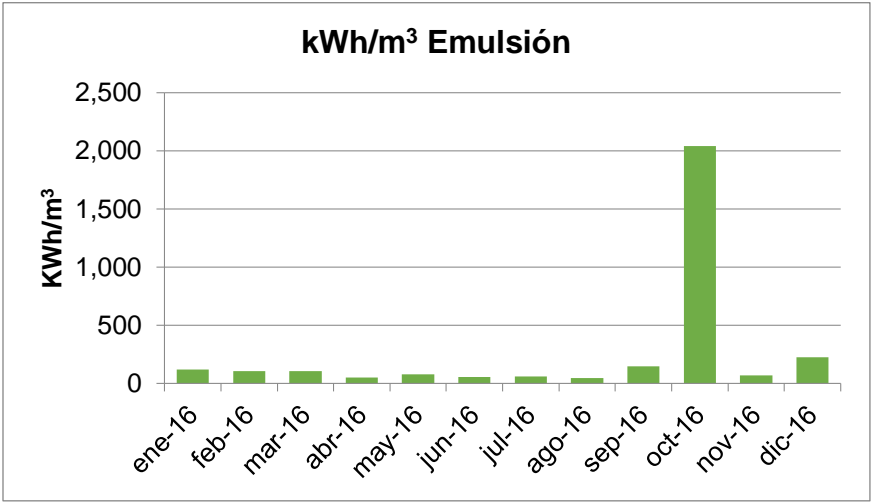
Se realizaron cálculos para cuantificar los indicadores energéticos eléctricos y energéticos térmicos, los cuales se presentan en la tabla 4.6.

**Tabla 4.6 Indicadores Energéticos de empresa ejemplo.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Mes	Consumo Energía Eléctrica (KWh)	Consumo Térmico (Gal Queroseno)	Emulsión Asfáltica (m <sup>3</sup> )	Mezcla Asfáltica (m <sup>3</sup> )	kWh/m <sup>3</sup> Emulsión	kWh/m <sup>3</sup> Mezcla	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> Emulsión	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> Mezcla	Gal Queroseno/m <sup>3</sup> Emulsión
ene-16	8,193.0	166.7	67.11	105.90	122	77	84.31	53.43	2.48
feb-16	10,003.0	216.31	92.25	180.33	108	55	74.88	38.31	2.34
mar-16	10,442.0	225.91	97.12	53.44	108	195	74.25	134.94	2.33
abr-16	9,330.0	398.23	184.47	75.13	51	124	34.93	85.76	2.16
may-16	13,447.0	374.42	172.40	356.07	78	38	53.87	26.08	2.17
jun-16	9,833.0	379.01	174.73	94.82	56	104	38.86	71.62	2.17
jul-16	9,573.0	359.5	164.84	157.70	58	61	40.11	41.92	2.18
ago-16	8,445.0	382.13	176.31	574.90	48	15	33.08	10.14	2.17
sep-16	9,589.0	163.76	65.62	615.10	146	16	100.92	10.77	2.50
oct-16	8,956.0	42.97	4.39	270.26	2,041	33	1409.75	22.89	9.79
nov-16	9,581.0	312.17	140.84	610.42	68	16	46.98	10.84	2.22
dic-16	8,493.0	109.35	38.04	110.07	223	77	154.19	53.29	2.87
<b>Promedio</b>	<b>9,657.1</b>	<b>260.87</b>	<b>114.84</b>	<b>267.01</b>	<b>258.97</b>	<b>67.57</b>	<b>178.84</b>	<b>46.67</b>	<b>2.95</b>
<b>Total</b>	<b>115,885</b>	<b>3,130.46</b>	<b>1,378.1</b>	<b>3,204.1</b>	<b>3,107.6</b>	<b>810.9</b>	<b>2,146.1</b>	<b>560.0</b>	<b>35.4</b>

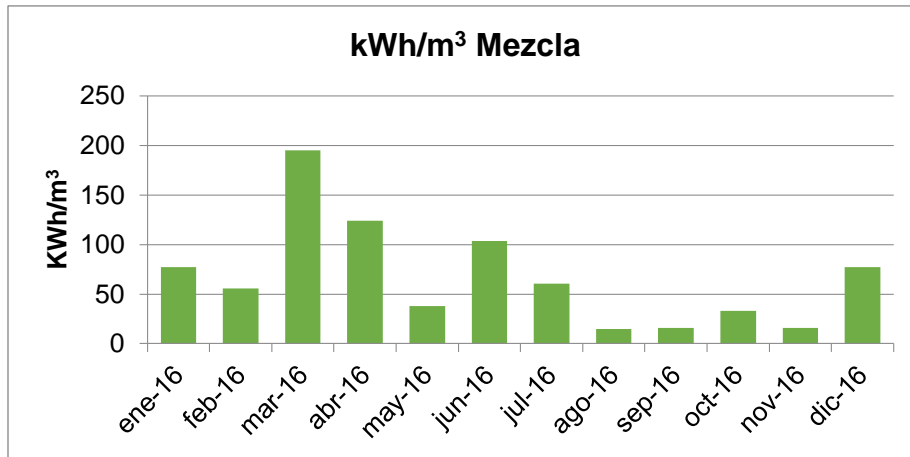
A continuación en la figura 4.5, se muestra un panorama sobre la variación del consumo eléctrico, térmico y emisiones de CO<sub>2</sub> versus la cantidad de metros cúbicos de emulsión asfáltica y mezcla asfáltica en frío procesada en su efecto como indicador de desempeño.



**Figura 4.5 Comportamiento de indicador de desempeño energético para emulsión asfáltica.**

*Fuente: Elaboración propia.*

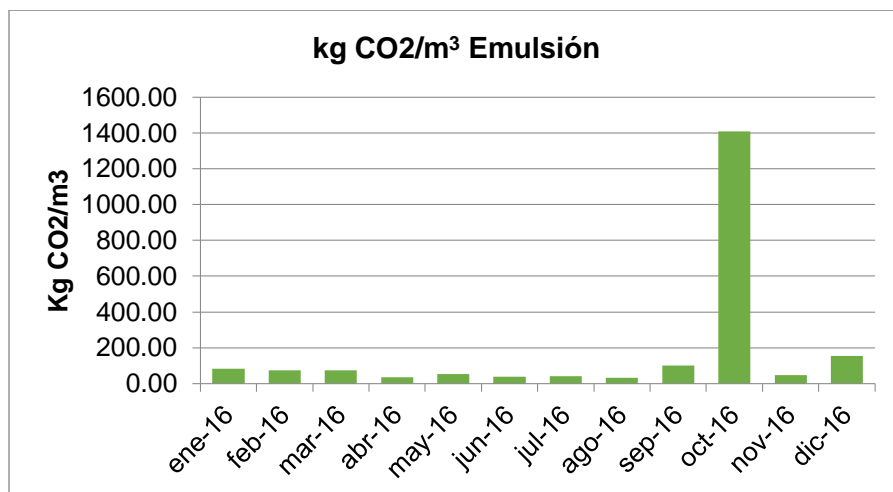
El gráfico presenta un alza en el mes de octubre, respecto a la constancia de los demás meses. Este incremento está relacionado con la producción en dicho mes como se observa en la tabla 4.6, donde la generación de emulsión asfáltica decayó siendo apenas el 4% con respecto al promedio de producción mensual. Ya que el consumo energético de la planta se mantiene regularmente constante a través de los meses, si se tiene una baja productiva la relación que nos muestra el indicador se desproporciona completamente, reflejando un consumo energético alto que no es aprovechado completamente. Sin embargo, estas variaciones son inevitables debido a que la planta siempre trabaja en base a la demanda en el mercado.



**Figura 4.6 Comportamiento de indicador de desempeño energético para mezcla asfáltica.**

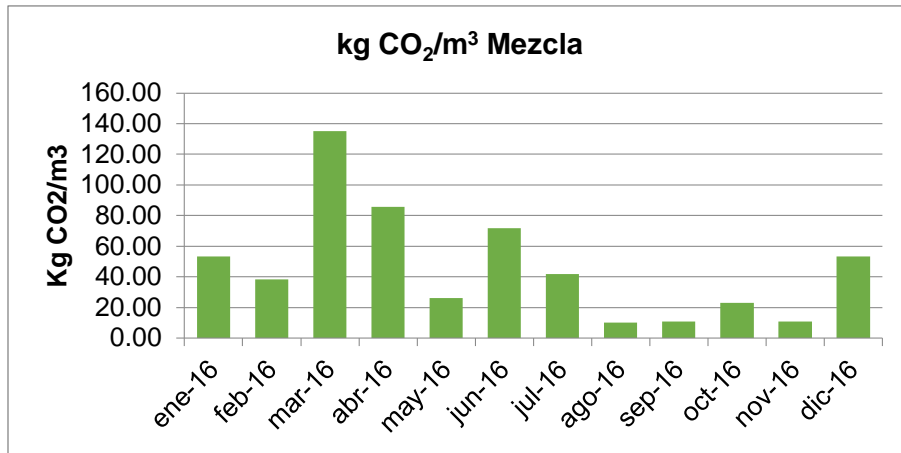
*Fuente: Elaboración propia.*

En el gráfico previo (ver Figura 4.6) se observa una fluctuación del indicador para la mezcla asfáltica en frío a través de los meses, este comportamiento es el reflejo de la demanda en el mercado para este producto, es decir que al estar en funcionamiento la planta con un requerimiento de energía constante, si la demanda de mezcla asfáltica en frío es menor, mayor será el valor del indicador y por tanto mayor el desaprovechamiento energético.



**Figura 4.7 Comportamiento de indicador de desempeño de emisiones para emulsiones asfálticas.**

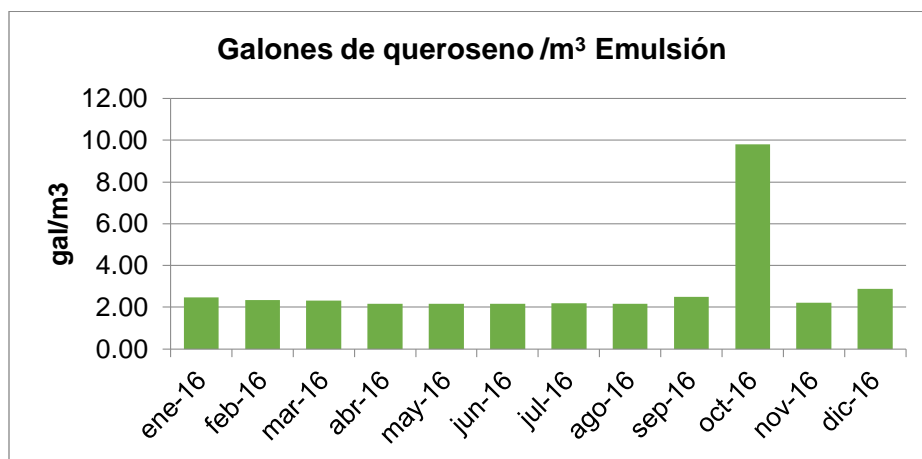
*Fuente: Elaboración propia.*



**Figura 4.8 Comportamiento de indicador de desempeño de emisiones para mezcla asfáltica.**

*Fuente: Elaboración propia.*

El gráfico mostrado en la figura 4.8 está igualmente condicionado a la demanda de la mezcla asfáltica en frío; Con la diferencia que la interpretación es de acuerdo con los kg de CO<sub>2</sub> emitidos en el proceso, por lo tanto, para el mes de marzo se generó la mayor cantidad de emisiones sin ser completamente justificada. Visto de otra forma, la contaminación que se genera es alta comparado con el bien (producto) que se elabora ya que en ese mes bajó su demanda y consecuentemente su fabricación.



**Figura 4.9 Comportamiento de indicador de desempeño para emulsión asfáltica.**

*Fuente: Elaboración propia.*



Por último, los gráficos presentados en las figuras 4.7 y 4.9 tienen el mismo comportamiento que el mostrado en la figura 4.5, los tres en función de la producción de emulsión asfáltica y por lo tanto estos últimos exponiendo un incremento en la generación de emisiones y en el consumo de combustible de manera no justificada para el mes de octubre.

Los indicadores energéticos establecidos para la empresa son los siguientes:

1. **Indicador Energético:** 258.97 kWh/m<sup>3</sup> producidos promedio de emulsión asfáltica, a partir del monitoreo de energía que lleva la empresa. Para el caso de la mezcla asfáltica 67.57 kWh/m<sup>3</sup> producido según registros.  
La emulsión asfáltica posee un indicador propio basado en el consumo de queroseno de 2.95 gal/m<sup>3</sup> producido de emulsión.
2. **Indicadores Ambientales:** 178.84 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> producidos promedio de emulsión asfáltica y 46.67 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> producidos promedio de mezcla asfáltica en frío; expresados en Kg de CO<sub>2</sub> equivalentes, utilizando el factor de emisión por país para el año 2010 (0.6906 Ton de CO<sub>2</sub>/MWh) y su equivalente por emisiones de cada tipo de combustible.

#### **4.2.4. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.**

En el siguiente apartado se presentan las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la empresa debido a la utilización de los recursos energéticos, energía eléctrica y energía térmica, para la estimación presentada se utilizaron los datos de consumo eléctrico para los meses en estudio y el consumo promedio anual de queroseno. Las emisiones de CO<sub>2</sub> debido al consumo de energía eléctrica y térmica se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 4.7 Emisiones totales de la empresa ejemplo.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Mes</b>	<b>Consumo Energía Eléctrica (KWh)</b>	<b>Emisiones Totales por Consumo Eléctrico (Ton CO<sub>2</sub>)</b>	<b>Consumo Energía Térmica (GJ)</b>	<b>Emisiones Totales por Consumo Térmico (Ton CO<sub>2</sub>)</b>
<b>ene-16</b>	8,193.00	5.66	21.62	1.55
<b>feb-16</b>	10,003.00	6.91	28.05	2.02
<b>mar-16</b>	10,442.00	7.21	29.30	2.11
<b>abr-16</b>	9,330.00	6.44	51.64	3.71
<b>may-16</b>	13,447.00	9.29	48.56	3.49
<b>jun-16</b>	9,833.00	6.79	49.15	3.53
<b>jul-16</b>	9,573.00	6.61	46.62	3.35
<b>ago-16</b>	8,445.00	5.83	49.56	3.56
<b>sep-16</b>	9,589.00	6.62	21.24	1.53
<b>oct-16</b>	8,956.00	6.19	5.57	0.4
<b>nov-16</b>	9,581.00	6.62	40.48	2.91
<b>dic-16</b>	8,493.00	5.87	14.18	1.02
<b>Promedio (Mensual)</b>	<b>9,657.08</b>	<b>6.67</b>	<b>33.83</b>	<b>2.43</b>
<b>Total (Anual)</b>	<b>115,885.00</b>	<b>80.03</b>	<b>405.97</b>	<b>29.19</b>

#### **4.2.5. CUANTIFICACIÓN DE CONSUMIDORES.**

En el presente apartado se identifican, describen y cuantifican los principales consumidores energéticos tanto térmicos como eléctricos utilizados en la producción de mezclas asfálticas en frío y emulsiones asfálticas de la empresa ejemplo.

## Principales consumidores energéticos eléctricos.

### **Bombas y Motores.**

Para la producción de emulsiones asfálticas y mezclas asfáltica en frío se hace uso principalmente de motores que hacen factible para el primer caso la unificación de la mezcla y el segundo caso la unión de los agregados pétreos a la emulsión previamente elaborada y almacenada; además de esto se hace uso de bombas que posibilitan el traslado de los fluidos tanto de los que funcionan como materias primas para ambos procesos como aquellas que transportan el combustible para el accionar de los quemadores.



**Figura 4.10 Ejemplo de bomba transportadora de fluido.**

*Fuente: Documento "Guía de selección de bombas"*

En la tabla siguiente muestra el inventario de bombas y motores utilizados en ambos procesos:

**Tabla 4.8 Inventario de motores de la empresa.**

*Fuente: Elaboración propia*

Área	Descripción	Capacidad instalada (kW)	Horas de uso/día	Factor de carga	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
Agua Jabonosa y Aditivos	Bomba de pozo	0.7	4	0.9	2.7	13.3	159.8
	Bomba mezclador	5.6	4	0.9	20.1	100.6	1207.4
	Bomba para ácido	1.5	4	0.9	5.4	26.8	321.8
	Bomba para jabón (Tanque de preparación)	3.0	4	0.9	10.7	53.6	643.7
	Bomba de queroseno (Calentar Agua)	0.2	4	0.9	0.7	3.4	41.0
	Bomba de jabón (Agua preparada)	2.2	4	0.9	8.1	40.3	483.8
	Motor rotador emulsión	8.2	4	0.9	29.5	147.6	1771.2
Emulsión	Bomba asfalto gringa	3.7	4	0.9	13.4	67.1	805.7
	Bomba de asfalto	11.2	4	0.9	40.3	201.4	2417.0
	Motor aceite térmico	1.3	4	0.9	4.824	24.1	289.4
Almacenamiento	Bomba de emulsión	5.6	4	0.9	20.2	100.8	1209.6
Nodriz	Motor de mezcladora	22.4	4	0.9	80.5	402.7	4831.9
	Bomba de emulsiones	7.5	4	0.9	26.9	134.3	1611.4
	Motor de reductores de grava 3/8	1.5	4	0.9	5.4	26.8	321.8
	Motor de reductor de Grava 3/4	1.5	4	0.9	5.4	26.8	321.8
	Motor de reductor de chispa	1.5	4	0.9	5.4	26.8	321.8
	Motor de banda transportadora	1.6	4	0.9	5.9	29.5	354.2
	Bomba de agua	1.5	4	0.9	5.4	26.8	321.8
	Bomba asfalto	0.7	4	0.9	2.7	13.5	162.0
	Bomba contra incendios	3.0	4	0.9	10.7	53.6	643.7
	<b>TOTAL</b>	<b>84.4</b>			<b>304.0</b>	<b>1520.1</b>	<b>18241.2</b>

## Molino Coloidal.

La fabricación de las emulsiones asfálticas en la empresa ejemplo requieren de la introducción de asfalto caliente en un molino de coloide y simultáneamente se alimenta al mismo con la respectiva agua emulsionante (agua jabonosa) a la temperatura adecuada, de tal forma que las altas fuerzas de cizallamiento dentro del molino permitan al asfalto dividirse en pequeñas gotas dentro del agua dando como resultado la emulsión, al proceso se le conoce como emulsificación física mediante ruptura de gota.



**Figura 4.11 Fotografía de molino coloidal.**

*Fuente: Elaboración propia.*

En el siguiente cuadro se presenta el resumen del consumo eléctrico del único molino coloidal con que cuenta la empresa:

**Tabla 4.9 Datos de consumo eléctrico de molino coloidal.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Área	Descripción	Capacidad instalada (kW)	Horas de uso/día	Factor de carga	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
Emulsión	Molino coloidal	37.29	4	0.9	134.244	671.22	8054.64

## Aires acondicionados.

La industria ejemplo posee diferentes aires acondicionados distribuidos tanto en las oficinas principales, como en los laboratorios donde se realizan una serie de pruebas que contribuyen a los diferentes procesos productivos incluidos los que se estudian en el presente documento; Es por esto por lo que se ha tomado a bien incluirlos dentro del análisis de los principales consumidores energéticos eléctricos, además de permitir un estudio de la eficiencia de funcionamiento de los mismos.



**Figura 4.12 Fotografía de aire acondicionado tipo central.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se menciona existen diferentes tipos de aires acondicionados, y distribuidos en diferentes áreas o secciones, el cuadro a continuación se resume el inventario de dichos aires y su cuantificación:

**Tabla 4.10 Inventario de Aires acondicionados de la empresa.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Área	Tipo	Capacidad (BTU/h)	Potencia (kW)	EER	Horas semanales	Horas al año	Consumo actual kWh/año
Lab. control de calidad	Mini Split	12000	1.3	9.5	60	3120	2358.7

Continua.

**Tabla 4.10 Inventario de Aires acondicionados de la empresa ejemplo (Continuación).***Fuente: Elaboración propia.*

Área	Tipo	Capacidad (BTU/h)	Potencia (kW)	EER	Horas semanales	Horas al año	Consumo actual kWh/año
Lab. control de calidad	Central	60,000	7.5	8.00	60	3120	14040
Lab. de suelos y agregados	Central	60,000	7.5	8.00	60	3120	14040
Oficinas 1	Mini Split	12,000	1.3	9.4	60	3120	2396.2
Oficinas 2	Mini Split	12,000	1.3	9.4	60	3120	2396.2
Oficinas 3	Mini Split	12,000	1.3	9.4	60	3120	2396.2
Sala de reuniones	Mini Split	12,000	1.3	9.4	60	3120	2396.2
<b>Total</b>			<b>21.4</b>		<b>420</b>	<b>21840</b>	<b>40,023.4</b>

### **Luminarias.**

Las luminarias principales requeridas en el proceso estrictamente productivo, solamente están en uso cuando es exigido un periodo laboral de carácter nocturno, que por lo general se suscita muy poco ya que la ubicación y el espacio en dichas áreas permite un buen funcionamiento con la iluminación natural; Sin embargo se ha tomado a bien hacer un inventario de luminarias de los diferentes laboratorios involucrados en los procesos de producción así como de las oficinas ya que se ha detectado aun el uso de luminarias ineficientes que posibilitaría un factor de ahorro para la empresa ejemplo al cambiar por equipos de bajo consumo.

El siguiente cuadro resume la cuantificación de dichos consumidores en su respectivo inventario:

**Tabla 4.11 Inventario de luminarias de la empresa ejemplo.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Área	Tipo	Potencia (W)	Cantidad	Potencia instalada (W)	Uso aproximado (h/día)	Consumo actual (kWh/año)
Oficina Lab de control de calidad	Tubo fluorescente	32	24	768	9	2163.5
	Foco fluorescente	25	1	25	9	70.4
Exteriores	Foco fluorescente	25	2	50	6	93.9
	Perimetrales	75	2	150	12	563.4
Lab de suelos y agregados	Tubo fluorescente	32	30	960	9	2704.3
Lab de I+D	Tubo fluorescente	32	51	1632	9	4597.3
	Lámpara fluorescente	25	1	25	9	70.4
Oficinas 1	Tubo fluorescente	32	8	256	9	721.1
Oficinas 2	Tubo fluorescente	32	12	384	9	1081.7
Baños	Tubo fluorescente	32	2	64	1	20.0
Oficinas 3	Tubo fluorescente	32	3	96	9	270.4
Pasillo	Tubo fluorescente	32	6	192	9	540.9
Cocina	Foco fluorescente	25	2	50	4	62.6
Sala de reuniones	Tubo fluorescente	32	12	384	0.3	36.1
<b>TOTAL</b>				<b>3,585</b>		<b>12,996.1</b>



## Equipos de laboratorio.

Por último, en los principales consumidores energéticos eléctricos se identifican aquellos equipos de amplio uso en el laboratorio, su cuantificación se detalla a continuación:

**Tabla 4.12 Inventario de equipo de laboratorio de mayor uso.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Descripción	Capacidad instalada (kW)	Horas de uso/día	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
Reómetro	0.009	3	0.03	0.1	1.71
Hornos (3)	1.9	24	138.2	691.2	8294.4
RTFO	1.5	3	4.5	22.5	270
<b>TOTAL</b>	<b>3.4</b>		<b>142.8</b>	<b>713.8</b>	<b>8566.1</b>

## Principales consumidores energéticos térmicos.

Para el caso de los dos procesos productivos en la empresa ejemplo incluidos en esta investigación, solamente en la producción de las emulsiones asfálticas se hace uso de consumidores energéticos térmicos y estos son los encargados de generar el calor requerido tanto para el calentamiento del agua en la formulación del agua jabonosa, como de mantener a alta temperatura el aceite térmico, incluyendo además el calentamiento del asfalto para su fluidización al momento de preparar la



**Figura 4.13 Ejemplo de quemadores utilizados.**

*Fuente: Manual de quemador de aceite SF/SM.*

emulsión, dichos consumidores son una serie de quemadores ubicados en diferentes áreas de la planta.

El inventario de los principales consumidores energéticos térmicos es el siguiente:

**Tabla 4.13 Inventario de quemadores de queroseno.**

*Fuente: Elaboración propia.*

AREA	Descripción	Capacidad de procesamiento Gal/hora (placa)	Capacidad de generación de energía kBTU/hora (placa)	Combustible consumido Gal/mes	Consumo anual Gal/año
Agua jabonosa y aditivos	Quemador de queroseno	1.2 a 5.5	175 a 770	34.3	411.7
Almacenamiento y recirculación de asfalto	Quemador de queroseno	1.2 a 5.5	175 a 770	56.6	679.7
	Quemador de queroseno	1.2 a 5.5	175 a 770	56.6	679.7
	Quemador de queroseno	1.2 a 5.5	175 a 770	56.6	679.7
Emulsión	Quemador de queroseno (Caldera de aceite térmico)	1.2 a 5.5	175 a 770	56.6	679.7
<b>TOTAL</b>				<b>260.8</b>	<b>3,130.2</b>

#### 4.2.6. FLUJOGRAMAS DE PROCESO DE PRODUCCIÓN.

##### Emulsiones asfálticas.

A continuación, se presenta el flujograma de las etapas del proceso de fabricación de emulsión asfáltica.

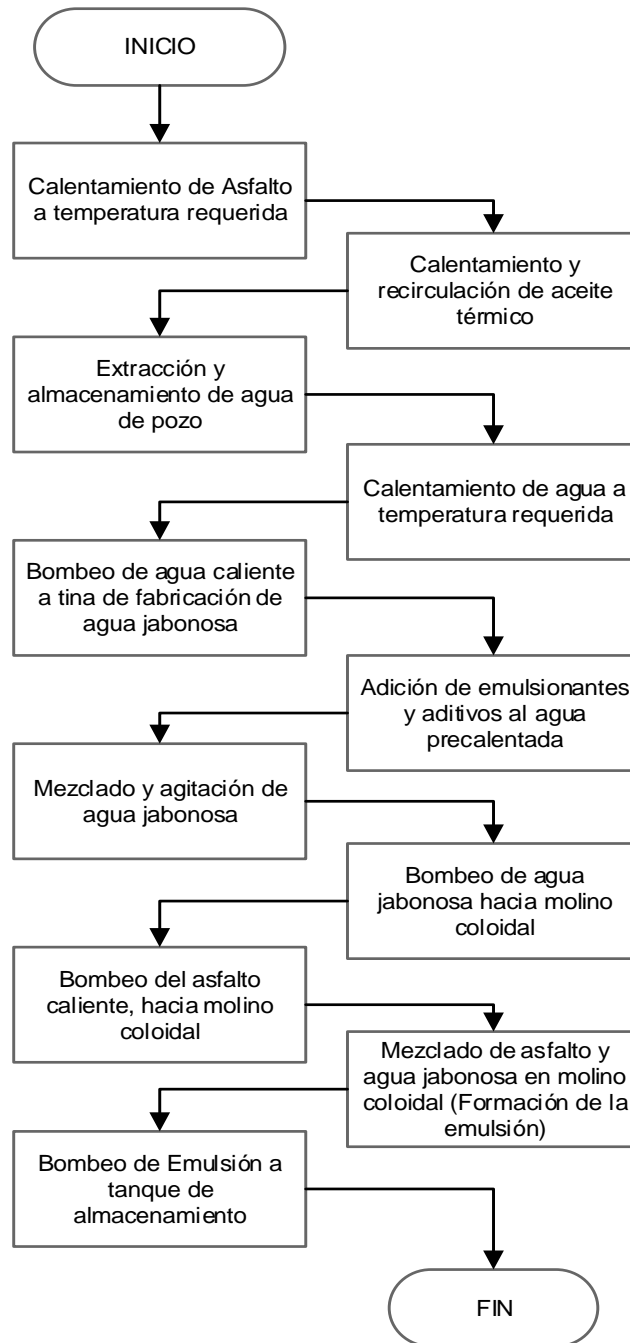
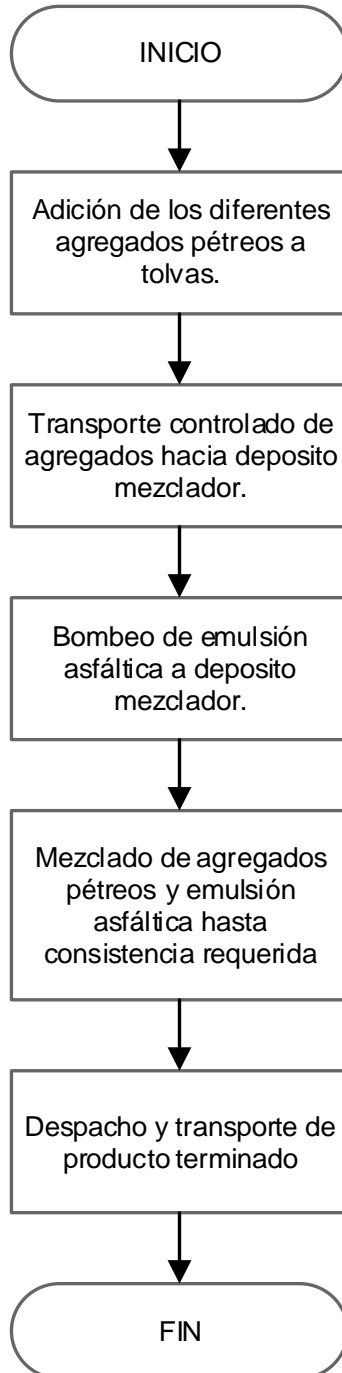


Figura 4.14 Flujograma de proceso de producción de emulsiones asfálticas

Fuente: Elaboración propia.

### Mezclas asfálticas en frío.

El siguiente diagrama describe las etapas para la fabricación de la mezcla asfáltica en frío.



**Figura 4.15** Flujograma de proceso de producción de mezclas en frío.

*Fuente: Elaboración propia.*

### 4.3. ETAPA III. DIAGNÓSTICO.

En esta etapa se presenta el proceso de generación de energía térmica en función de los diferentes usos del combustible en la empresa.

En este caso, el queroseno es utilizado para el calentamiento de agua a la entrada del proceso de producción de emulsiones asfálticas, para el calentamiento de asfalto antes de la fase de mezcla en molino coloidal y para calentamiento de aceite térmico el cual ayuda al paso del asfalto por las tuberías hacia los tanques de almacenamiento.

Además de la realización de balances energéticos y de materiales, se generan las opciones de PML posibles según lo identificado en el desarrollo de esta etapa por medio de visitas y recorridos en la empresa ejemplo.

A continuación, se realiza el balance térmico, en función de la cantidad de queroseno utilizado.

#### 4.3.1. BALANCE TÉRMICO.

##### Energía total del proceso.

Para el desarrollo del proceso se partió del consumo de queroseno promedio de la empresa el cual es de **260.8 galones/mes.**

En la siguiente tabla se resumen los datos utilizados y el resultado obtenido.

**Tabla 4.14 Energía total mensual requerida por el proceso.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Descripción	Valor	Unidades
Densidad queroseno	3.0	kg/gal
Poder calorífico	42,800	KJ/kg
Consumo queroseno promedio	260.8	gal/mes
Energía total mensual	33,825,680.7	KJ/mes
	33.8	GJ/mes

Por lo que la energía total requerida por el proceso se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{260.8 \text{ galones}}{\text{mes}} * \frac{3.0 \text{ kg}}{\text{galón}} * \frac{42,800 \text{ kJ}}{\text{kg}} = \frac{33.8 \text{ GJ}}{\text{mes}}$$

Para determinar el porcentaje de energía utilizado correspondiente a calentamiento de agua, asfalto y aceite térmico hacemos uso de la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Energía total} = & \text{Energía para calentamiento de agua} + \\ & \text{energía para calentamiento de asfalto} + \\ & \text{energía para calentamiento de aceite térmico (Ecuación 4.1.)} \end{aligned}$$

### Energía para calentamiento de asfalto.

En la siguiente tabla se resumen los datos utilizados y el resultado obtenido.

**Tabla 4.15 Energía total mensual requerida para calentamiento de asfalto.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Descripción	Valor	Unidades
Energía para calentar asfalto	14,787,811.7	kJ/mes
	14.8	GJ/mes
Cantidad de asfalto mensual	18,366.8	gal/mes
Capacidad calorífica del asfalto	1.9	kJ/kg °C
Densidad de asfalto	3.5	kg/galón
Temperatura inicial	25	°C
Temperatura final	145	°C
Cantidad de combustible	114.03	gal/mes
Porcentaje energético	44%	

El cálculo se realizó con la siguiente fórmula:

$$Q = mCp\Delta T \text{ (Ecuación 4.2.)}$$

Donde:

$$Q = \text{Energía requerida (GJ)}$$

$$m = \text{Masa del asfalto (kg)}$$

$$Cp = \text{Capacidad calorífica del asfalto } \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right)$$

$$\Delta T = \text{Delta de temperatura } (^{\circ}\text{C})$$

Sustituyendo en la ecuación 4.2. tenemos:

$$Q = \frac{18,366.8 \text{ kg}}{\text{mes}} * \frac{1.9 \text{ kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (145 - 25)^{\circ}\text{C}$$

$$Q = \frac{14.8 \text{ GJ}}{\text{mes}}$$

### **Energía para calentamiento de agua.**

En la siguiente tabla se resumen los datos utilizados y el resultado obtenido.

**Tabla 4.16 Energía mensual total requerida para calentamiento de agua.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Descripción	Valor	Unidades
Energía para calentar el agua	4,450,009.0	KJ/mes
	4.5	GJ/mes
Cantidad de agua mensual	42,491.9	kg/mes
Capacidad calorífica del agua	4.2	KJ/kg °C
Densidad del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>
	3.8	kg/gal
Temperatura inicial	25	°C
Temperatura final	50	°C
Cantidad de combustible	34.3	kg/mes
Porcentaje energético	13%	

De igual forma como en el cálculo para el asfalto, se estima la energía para calentamiento del agua haciendo uso de la ecuación 4.2. así:

$$Q = mCp\Delta T$$

$$Q = \frac{42491.93 \text{ kg}}{\text{mes}} * \frac{4.184 \text{ kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (50 - 25)^{\circ}\text{C}$$

$$Q = \frac{4.5 \text{ GJ}}{\text{mes}}$$

### **Energía para calentamiento de aceite térmico.**

En este caso el cálculo se realiza por diferencia utilizando la ecuación 4.1. así:

***Energía total***

$$\begin{aligned} &= \text{Energía para calentamiento de agua} \\ &+ \text{energía para calentamiento de asfalto} \\ &+ \text{energía para calentamiento de aceite térmico} \end{aligned}$$

***Energía para calentamiento de aceite térmico***

$$\begin{aligned} &= \text{Energía total} - \text{Energía para calentamiento de agua} \\ &- \text{energía para calentamiento de asfalto} \end{aligned}$$

$$\text{Energía para calentamiento de aceite térmico} = \frac{33.83 \text{ GJ}}{\text{mes}} - \frac{4.5 \text{ GJ}}{\text{mes}} - \frac{14.8 \text{ GJ}}{\text{mes}}$$

$$\text{Energía para calentamiento de aceite térmico} = \frac{14.6 \text{ GJ}}{\text{mes}}$$

La siguiente tabla resume los cálculos previos.

**Tabla 4.17 Energía total mensual requerida para calentamiento de aceite térmico.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Energía aceite térmico	14.59	GJ/mes
	14,587,860.03	KJ/mes
Cantidad de combustible	112.49	gal/mes
Porcentaje energético	43%	

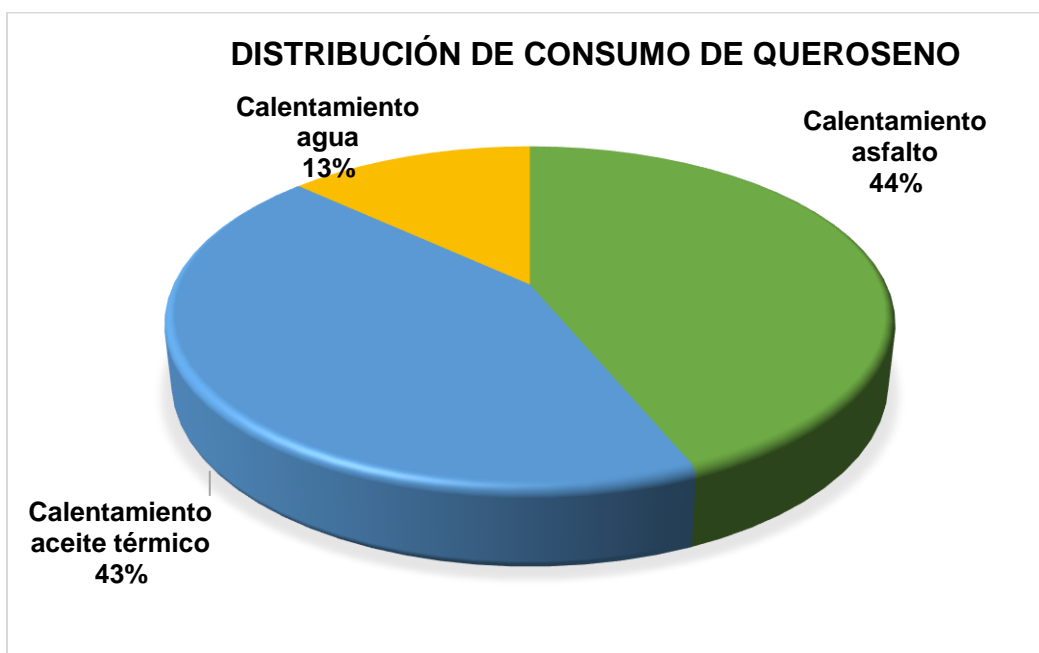
A partir del levantamiento de información realizado durante la evaluación en planta en la empresa ejemplo, entrevistas con empleados, hojas de registros de análisis realizados, mediciones, recibos de combustible, estimaciones y cálculos realizados en este mismo apartado, la distribución de la energía térmica (consumidores térmicos) de la empresa se encuentra de la siguiente manera:



**Tabla 4.18 Distribución del consumo de queroseno.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Distribución	Galones de queroseno/año	Porcentaje	GJ/año	galones/mes	GJ/mes
Calentamiento asfalto	1368.4	44%	177.45	114.03	14.79
Calentamiento aceite térmico	1349.9	43%	175.05	112.49	14.59
Calentamiento agua	411.8	13%	53.40	34.31	4.45
<b>Total</b>	<b>3130.0</b>	<b>100%</b>	<b>405.91</b>	<b>260.83</b>	<b>33.83</b>



**Figura 4.16 Gráfico de distribución de consumo de queroseno.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Del gráfico anterior se observa que el mayor consumo energético se da en el calentamiento de asfalto para la producción de emulsiones con un 44%, ya que se requiere llevar dicha emulsión a temperaturas de más de 140°C.

#### **4.3.2. BALANCE ELÉCTRICO.**

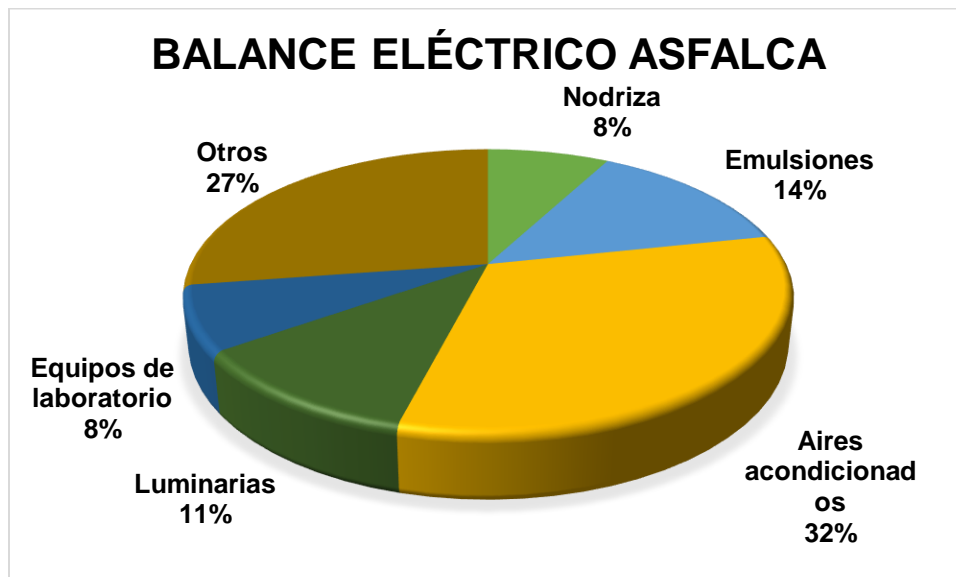
A partir del levantamiento de información se realizaron: entrevistas con empleados, personas de contacto del proyecto, hojas de registros de los diferentes equipos,

mediciones, recibos de energía, estimaciones y cálculos realizados con la distribución de la energía eléctrica (consumidores eléctricos) de la empresa ejemplo, el resumen de dicha información se presenta de la siguiente manera:

**Tabla 4.19 Balance eléctrico de la empresa.**

Fuente: Elaboración propia.

Consumidor	Consumo mensual kWh/mes	%
Nodriza	754.20	8%
Emulsiones	1336.32	14%
Aires acondicionados	3882.94	32%
Luminarias	1083.01	11%
Equipos de laboratorio	713.84	7%
Otros	1886.77	27%
<b>Consumo según facturación</b>	<b>9657.08</b>	<b>100%</b>



**Figura 4.17 Balance energético eléctrico de la empresa.**

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se puede observar que el 32% del consumo de energía eléctrica de la empresa es debido a los aires acondicionados, que se encuentran distribuidos en todos los laboratorios y áreas administrativas de la empresa.

La planta de emulsiones genera un gasto eléctrico de 14% y la correspondiente a mezclas asfálticas (nodriza) un 8%, debido a que el consumo mayor envergadura está ligado al combustible.

#### 4.3.3. BALANCE DE MATERIA.

A través de la información proporcionada por la empresa ejemplo se establece el balance de materia para ambas líneas productivas en estudio.

##### Emulsión asfáltica.

Para ejemplo de cálculo se establece a partir de volumen total de emulsión asfáltica generado en el año base de estudio, los volúmenes de composición del producto final resumidos en el siguiente cuadro, además se consideran los volúmenes componentes aditivos:

**Tabla 4.20 Volúmenes de composición anual de emulsión asfáltica.**

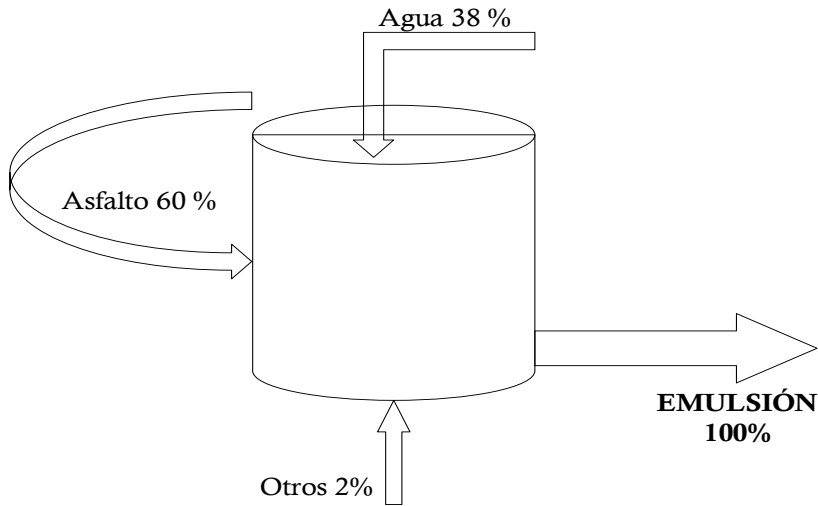
*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Producción total Anual (Galones)</b>	<b>Asfalto (Galones)</b>	<b>Agua (Galones)</b>	<b>Otros (Galones)</b>
<b>364,057.1</b>	220,401.1	134,701.1	8,954.9

La determinación de dichos volúmenes antes expuestos se hizo a través de información proporcionada y se estimó la composición de la mezcla donde los valores se mantienen aproximadamente constantes, indistintamente del volumen del batch producido.

En el caso de la producción anual, el 60% lo representa el asfalto como materia prima bruta, el 38% de la composición pertenece al agua dentro de la emulsión y el 2% restante a los otros componentes dentro de la emulsión.

Los porcentajes de composición volumétrica se describen en la siguiente figura:



**Figura 4.18 Balance de materia para emulsión asfáltica.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Dichos porcentajes son aplicables con aproximada exactitud para cualquier volumen a producir, siempre se mantendrá dicha composición.

### **Mezcla asfáltica en frío.**

Para ejemplo de cálculo se establece a partir de la producción total de mezcla asfáltica en frío generada en el año base de estudio, las masas de composición del producto final resumidas en el siguiente cuadro:

**Tabla 4.21 Masas de composición anual de mezcla asfáltica en frío.**

*Fuente: Elaboración propia.*

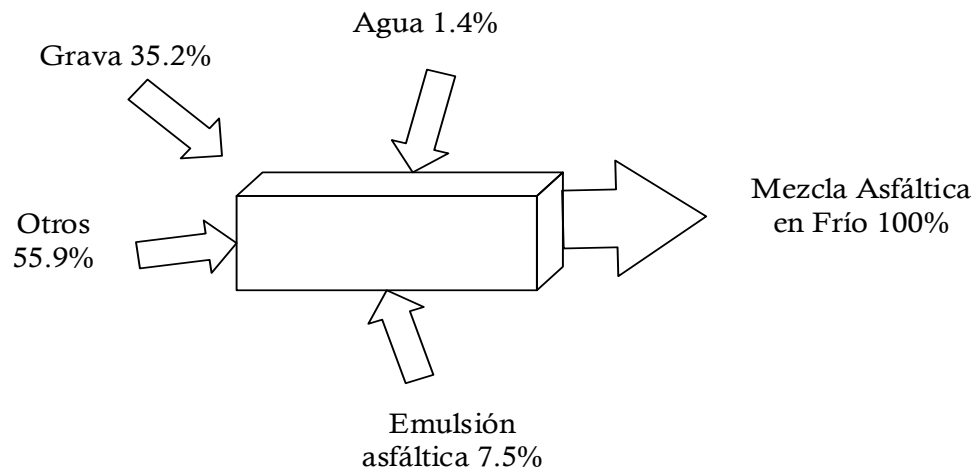
<b>Producción total Anual (Kilogramos)</b>	<b>Grava (Kilogramos)</b>	<b>Emulsión asfáltica (Kilogramos)</b>	<b>Agua (Kilogramos)</b>	<b>Otros (Kilogramos)</b>
<b>5,489,733.2</b>	1,932,877.3	411,620.3	77,447.1	3,067,788.4

De igual forma que en la emulsión asfáltica, para la mezcla asfáltica en frío se hizo uso de la información dada por la empresa ejemplo para el establecimiento de los

porcentajes de composición, teniendo siempre en cuenta que independientemente del total de kilogramos a producir de mezcla asfáltica en frío, dichos porcentajes de composición siempre se mantienen constantes de forma aproximada.

De esta forma el 35.2% lo representa la Grava que es uno de los agregados pétreos de la mezcla, para el 7.5% corresponde a la emulsión asfáltica que funge como materia prima en este caso, el 1.4% es el porcentaje que aporta el agua a la mezcla y por último el mayor porcentaje lo representan los otros agregados pétreos y demás componentes adicionados a la mezcla con un 55.9%.

El diagrama del balance de materia se resume en la siguiente figura:



**Figura 4.19 Balance de materia para mezcla asfáltica en frío.**

*Fuente: Elaboración propia.*

#### **4.3.4. PROPUESTAS DE MEJORA.**

En esta sección se presentan las propuestas de mejora, surgidas del compilado de información previamente planteada y análisis de la misma, de tal manera que se puedan implementar opciones que faculten a la empresa ejemplo de un proceso más eficiente energéticamente hablando y por consiguiente más amigable con el medio ambiente; a cada recomendación le acompañan sus respectivos análisis de factibilidad técnica, económica y ambiental, siguiendo la metodología de PML descrita en el capítulo 2.

Dicho análisis se hace con el objeto de obtener los beneficios y costos de la implementación de las medidas propuestas, en zonas con potencial identificadas en las instalaciones de la planta de la empresa ejemplo.

La situación actual y propuesta para cada posible medida se describe en la sección siguiente correspondiente siempre a la etapa de diagnóstico.

##### **4.3.4.1. Cambio de luminarias actuales por tecnología LED.**

###### **Situación actual:**

La planta cuenta con una cantidad considerable de luminarias; 136 exactamente. Del total, 130 no son tecnología LED. Debido a tal cantidad, vale la pena evaluar una medida de cambio y con base a los ahorros obtenidos; económicos y ambientales, decidir si es viable o no la su sustitución.

El inventario de las mismas se presenta en la sección 4.2.5 donde se describen los principales consumidores energéticos eléctricos incluidas las luminarias.

Se trabajará la evaluación en base a los datos contenidos en la tabla 4.11.

### Viabilidad técnica:

Para evaluar esta medida, se reemplazará todos los tubos fluorescentes de 32 W por tubos LED de 18 W tomando en cuenta la misma cantidad de horas de uso. Las demás luminarias no representarán ahorro anual dado que no se reemplazarán.

Como ejemplo de cálculo, se tomarán los 24 tubos fluorescentes de 32 W en el área de oficina y laboratorio de control de calidad. Para ello, se calcula la nueva potencia recomendada en base a la nueva potencia de cambio; en este caso 18 W.

$$\text{Potencia recomendada} = (\text{Cantidad})(\text{Potencia de cambio}) \text{ (Ecuación 4.3)}$$

$$\text{Potencia recomendada} = (24)(18 \text{ W})$$

$$\text{Potencia recomendada} = 432 \text{ W} = 0.432 \text{ kW}$$

Para determinar el consumo nuevo por año, se hará en base a 313 días de uso al año.

$$\text{Consumo nuevo} = (\text{Potencia recomendada})(\text{Horas al día})(\text{Días por año})$$

$$\text{(Ecuación 4.4)}$$

$$\text{Consumo nuevo} = (0.432 \text{ kW}) \left( \frac{9 \text{ h}}{\text{días}} \right) \left( \frac{313 \text{ días}}{\text{año}} \right)$$

$$\text{Consumo nuevo} = 1,216.9 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

El ahorro por este reemplazo viene dado por la diferencia del consumo actual anual por el consumo propuesto anual.

$$\text{Ahorro} = \text{Consumo actual} - \text{Consumo propuesto} \text{ (Ecuación 4.5)}$$

$$\text{Ahorro} = 2,163.5 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} - 1,216.9 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

$$\text{Ahorro} = 946.5 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Los demás cálculos se realizan para cada uno de los reemplazos y se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 4.22 Resumen de resultados de remplazo de luminarias.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Área	Tipo nuevo	Potencia (W)	Potencia recomendada (W)	Consumo nuevo (kWh/año)	Ahorro (kWh/año)	Ahorro (\$/año)
Oficina	Tubo LED	18	432	1216.9	946.5	123.0
Lab de control de calidad	Foco fluorescente	25	25	70.4	0.0	0.0
Exteriores	Foco fluorescente	25	50	93.9	0.0	0.0
	Perimetrales	75	150	563.4	0.0	0.0
Lab de suelos y agregados	Tubo LED	18	540	1521.2	1183.1	153.8
Lab de I+D	Tubo LED	18	918	2586.0	2011.3	261.5
	Lámpara fluorescente	25	25	70.4	0.0	0.0
Oficinas 1	Tubo LED	18	144	405.6	315.5	41.0
Oficinas 2	Tubo LED	18	216	608.5	473.3	61.5
Baños	Tubo LED	18	36	11.3	8.8	1.1
Oficinas 3	Tubo LED	18	54	152.1	118.3	15.4
<b>TOTAL</b>			<b>2590</b>	<b>7299.8</b>	<b>5056.8</b>	<b>657.4</b>

El consumo propuesto es de 7,299.8 kWh/año; bastante bajo en comparación al actual que es de 12,356.6 kWh/año. Por lo tanto, la medida representa un ahorro de 5,056.8 kWh/año.

### **Viabilidad económica:**

La viabilidad económica de esta medida está en función de los kWh/año que no se utilizaron gracias al cambio de tecnología LED. Para su cálculo, se parte del ahorro antes calculado.

Como ejemplo de cálculo, se continuará con el ejemplo de los 24 tubos fluorescentes y considerando el precio de la energía de \$0.13.



*Beneficio económico = (Precio de la energía)(Ahorro) (Ecuación 4.6)*

$$Beneficio\ económico = \left( \frac{0.13\ US\$}{kWh} \right) \left( 946.5 \frac{kWh}{año} \right)$$

$$Beneficio\ económico = 123 \frac{US\$}{año}$$

Como puede observarse en la última columna de la tabla anterior, el ahorro total anual al implementar la medida es de \$657.

El total de tubos a reemplazar son 130; de acuerdo con Almacenes Vidrí, el costo unitario por cada tubo LED de 18 W es de \$11.3, por lo que la inversión sería de \$1,469.

Entonces el PSRI (Periodo simple de recuperación) es de:

$$PSRI = \frac{Inversión}{Ahorro\ económico} = \frac{\$1,469}{\$657.4/año} = 2.2\ años$$

### **Viabilidad ambiental:**

Para su cálculo, se toma en cuenta los kWh que no se utilizarán; es decir el ahorro al ejecutar la medida y el factor de emisión de 0.6906 Ton CO<sub>2</sub>/ MWh.

*Beneficio ambiental = (Factor de emisión)(Potencia ahorrada) ) (Ecuación 4.7)*

$$Beneficio\ ambiental = \left( 0.6906 \frac{Ton\ CO_2}{MWh} \right) \left( 5.0568 \frac{MWh}{año} \right) = 3.5 \frac{Ton\ CO_2}{año}$$

En el siguiente cuadro se resumen las viabilidades económica y ambiental.

**Tabla 4.23 Resumen de viabilidad económica y ambiental de remplazo de luminarias.**

Fuente: Elaboración propia.

<b>Resumen de la Medida de Eficiencia Energética a implementar</b>	
<b>Nombre de la Medida de EE</b>	Cambio de luminarias.
<b>Tecnología Propuesta:</b>	Cambio de tubos fluorescentes de 32 W por tubos LED de 18 W.
<b>Consumo actual:</b>	12,356.6 kWh/año
<b>Consumo propuesto:</b>	7,299.8 kWh/año
<b>Ahorro:</b>	5,056.8 kWh/año
<b>% de Ahorro logrado por la tecnología:</b>	59.1%
<b>Beneficio económico:</b>	657.4 US\$/año
<b>Inversión:</b>	1,469.0 US\$
<b>PSRI:</b>	2.2 años
<b>Vida útil de la tecnología:</b>	40,000 horas
<b>Beneficio Ambiental:</b>	3.5 Ton CO <sub>2</sub> /año

#### **4.3.4.2. Sustitución de aires acondicionados actuales por tecnología Inverter.**

##### **Situación actual.**

A la fecha la empresa ejemplo cuenta con 7 aires acondicionados cuya información es detallada en la Tabla 6 del presente documento; de estos, 2 equipos son de tipo Central cuya capacidad de enfriamiento es de 60,000 BTU/h y su correspondiente coeficiente de eficiencia energética (EER) es de 8.00, también se cuenta con 4 aires acondicionados restantes de tipo Mini Split con una capacidad de enfriamiento de 12,000 BTU/h y un EER aproximado de 9.3 para casi todos estos equipos, por último se tiene un aparato tipo Mini Split con la misma capacidad que los anteriores pero con un EER aún menor. Todos ellos con coeficientes de eficiencia bajos que se traduce en equipos menos eficientes.

##### **Situación propuesta.**

Se propone la sustitución de los aires acondicionados Mini Split por modelos que posean la misma capacidad de enfriamiento, pero con un consumo de menor

potencia y con tecnología más eficiente logrando un EER de 11. En el caso de los aires acondicionados ubicados en laboratorio de calidad y de suelos y agregados se sugiere el cambio por equipos con tecnología más eficiente y obteniendo un EER mayor que los actuales de aproximadamente 10.3; La tecnología Inverter que se propone usa compresores de velocidad variable, a diferencia de los compresores de velocidad fija que funcionan básicamente en dos puntos, máximo y mínimo; es decir el compresor de aire acondicionado se activa y trabaja a su capacidad máxima cuando la temperatura del recinto se aleja de la establecida, y se reduce al mínimo de refrigeración cuando se ha alcanzado la climatización deseada.

Esta nueva tecnología ajusta la velocidad del compresor para mantener la temperatura deseada con una mínima variación de energía, es decir que ya no actúa como un encendido y un apagado, sino más bien fluctúa en un rango entre el máximo y mínimo de tal forma que su ajuste hace más eficiente el tiempo de climatización y con un consumo más eficaz de la potencia requerida.

### **Viabilidad técnica:**

Para el caso la viabilidad está orientada a la reducción de potencia debida al cambio de equipos de aires acondicionados; La recomendación plantea la sustitución de los aires acondicionados modelo Mini Split con potencias requeridas de 1.3 kW por aparatos con tecnología Inverter que tengan la misma capacidad de enfriamiento es decir 12,000 BTU/h. pero con una potencia de 1.1 kW un valor mucho menor que el actual.

Por otro lado, también se refleja la reducción de potencia requerida al sustituir los modelos tipo Central con capacidades de 60,000 BTU/h respectivamente y que demandan 7.5 kW cada uno, por modelos con capacidad de 54,000 BTU/h y que demandan 5.2 kW de potencia, pero con tecnología Inverter al igual que los Mini Split, que posibilita un mayor rendimiento y un sistema más eficiente para alcanzar la temperatura confortable, aunque estos modelos propuestos posean una menor capacidad.

La información antes planteada y sus resultados se resumen en el siguiente cuadro:

**Tabla 4.24 Resumen de viabilidad técnica para sustitución de aires acondicionados.**

*Fuente: Elaboración propia.*

ÁREA	TIPO	TECNOLOGÍA ACTUAL				TECNOLOGÍA PROPUESTA		
		CAPACIDAD (BTU/h)	POTENCIA (kW)	EER	HORAS DE USO SEMANALES	CAPACIDAD (BTU/h)	POTENCIA (kW)	EER
Lab control de calidad.	Mini Split	12,000	1.3	9.5	60	12,000	1.1	11.0
Lab control de calidad.	Central	60,000	7.5	8.0	60	54,000	5.2	10.3
Lab de suelos y agregados.	Central	60,000	7.5	8.0	60	54,000	5.2	10.3
Oficinas 1.	Mini Split	12,000	1.3	9.4	60	12,000	1.1	11.0
Oficinas 2.	Mini Split	12,000	1.3	9.4	60	12,000	1.1	11.0
Oficina Lic.	Mini Split	12,000	1.3	9.4	60	12,000	1.1	11.0
Sala de reuniones.	Mini Split	12,000	1.3	9.4	60	12,000	1.1	11.0
<b>TOTAL</b>			<b>21.4</b>				<b>15.9</b>	

El consumo total en kWh de todos los equipos de aires acondicionados en la actualidad se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Consumo Actual } \left( \frac{kWh}{año} \right) = \text{Hora de uso } \left( \frac{h}{semana} \right) * 48 \left( \frac{semanas}{año} \right) * \text{Potencia (kW)}$$

(Ecuación 4.8)

Para el caso la potencia total demandada por todos los equipos actualmente es de **21.4 kW** así como sus horas de uso semanales son de **60 h/semana** para todos los equipos.

Determinando su consumo actual anual de acuerdo con la ecuación 4.8:

$$\begin{aligned} \text{Consumo Actual} &= 60 \frac{h}{\text{semana}} * 48 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} * 21.4 \text{ kW} * 0.8^1 * 0.75^2 \\ &= 40,023.4 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \end{aligned}$$

De igual forma para determinar el consumo total propuesto se hace uso de la potencia requerida por todos los equipos sugeridos cuyo valor es **15.9 kW** y se estima como sigue, haciendo uso siempre de la ecuación 4.8:

$$\text{Consumo Propuesto} = 60 \frac{h}{\text{semana}} * 48 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} * 15.9 \text{ kW} = 29,783.5 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Al restar el consumo propuesto del consumo actual se puede verificar la reducción de potencia por cambio de tecnología, así:

$$\text{Reducción de potencia} = \text{Consumo Actual} - \text{Consumo Propuesto} \text{ (Ecuación 4.9)}$$

$$\text{Reducción de potencia} = (40,023.36 - 29,783.52) \frac{\text{kWh}}{\text{año}} = 10,239.84 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

### **Viabilidad económica:**

Para su estimación primero se determina los ahorros anuales que se obtendrán de la reducción de potencia al realizarse el cambio de tecnología.

---

<sup>1</sup> Factor de carga del equipo.

<sup>2</sup> Factor de potencia del equipo.

Se tiene el costo ponderado del kWh con IVA incluido, que es de **US\$ 0.13 /kWh**, este valor se multiplica por la reducción de potencia anual, que no es más que los kilovatios no requeridos y por lo tanto ahorrados al sustituir los aires acondicionados.

$$Ahorros\ anuales = Reducción\ de\ Potencia\ \left(\frac{kWh}{año}\right) * Costo\ ponderado\ \left(\frac{US\$}{kWh}\right)$$

(Ecuación 4.10)

$$Ahorros\ anuales = 10,239.84 \frac{kWh}{año} * 0.13 \frac{US\$}{kWh} = \frac{US\$ 1,331.2}{año}$$

Ahora se determina el valor de la inversión total, este se obtiene al multiplicar los costos de cada uno de los equipos a adquirir para el cambio de tecnología, dichos equipos fueron cotizados en Tiendas Omnisport El Salvador y los costos para los equipos son los siguientes:

- a. Mini Split tecnología inverter con más eficiencia: **US\$ 529.**
- b. Modelo Central tecnología inverter con más eficiencia: **US\$ 3,795**

Por lo tanto, la inversión se obtiene de la siguiente manera:

$$Inversión\ Total = 5 * (US\$ 529) + 2 * (US\$ 3,795) = US\$ 10,235$$

Por último, se estima el periodo simple de recuperación (PSRI), que reflejara el tiempo en que los beneficios de sustitución de la tecnología más eficiente compensarán los costos de la inversión, así:

$$PSRI = \frac{Inversión\ Total}{Ahorros\ anuales} = \frac{US\$ 10,235}{\frac{US\$ 1,331.2}{año}} = 7.7\ años$$

### **Viabilidad ambiental:**

En este punto la potencia ahorrada es decir aquella que resulta de la reducción de potencia debe ser transformada en emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> que se están evitando al no consumir dicha demanda energética, y esto se determina de la siguiente manera:

Primero el factor de emisión usado es el del país establecido para el año 2010 (0.6908 Ton de CO<sub>2</sub>/MWh), luego este factor se multiplica por los MWh no generados al efectuar el cambio de equipos a unos más eficientes y se obtiene las toneladas de CO<sub>2</sub> que no se emitieron para el año en estudio así:

$$\text{Toneladas de CO}_2 \text{ no emitidas} = \text{Reducción de Potencia} \left( \frac{\text{MWh}}{\text{año}} \right) * \text{Factor de emisión} \left( \frac{\text{Ton CO}_2}{\text{MWh}} \right) \text{ (Ecuación 4.11)}$$

$$\text{Toneladas de CO}_2 \text{ no emitidas} = 10.23 \frac{\text{MWh}}{\text{año}} * 0.6908 \frac{\text{Ton CO}_2}{\text{MWh}} = 7.1 \frac{\text{Ton CO}_2}{\text{año}}$$

En el siguiente cuadro los resultados del análisis de viabilidad técnico, ambiental y económico.

**Tabla 4.25 Resumen de viabilidad de la medida sustitución de aires acondicionados.**

Fuente: Elaboración propia.

<b>Nombre de la Medida de EE</b>	<b>Cambio de sistemas de aires acondicionados.</b>
Tecnología Propuesta:	AA.
Consumo actual:	40,023.36 kWh/año
Consumo propuesto:	29,783.52 kWh/año
Ahorro:	10,239.84 kWh/año
% de Ahorro logrado por la tecnología:	34.0 %
Beneficio económico:	1,331.2 US\$/año
Inversión:	US\$ 10,235
PSRI:	7.7 años
Vida útil de la tecnología:	10 años
Beneficio Ambiental:	7.1 Ton CO <sub>2</sub> /año

#### 4.3.4.3. Sustitución de motores actuales por motores de alta eficiencia.

##### **Situación actual.**

Para la producción de emulsiones asfálticas la empresa utiliza diferentes motores para las diferentes etapas del proceso, sin embargo, el motor de molino coloidal es uno de que ejerce un papel fundamental en el proceso de fabricación ya que se encarga de mezclar la solución jabonosa con el asfalto. Para esta medida se tomó en cuenta no solamente a este equipo fundamental sino además a los otros dos motores con mayor consumo energético; las especificaciones de dichos motores se describen a continuación.

**Tabla 4.26 Datos de motores de mayor consumo energético.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Descripción	Capacidad instalada (kW)	Horas de uso/día	Factor de carga	kWh/día	kWh/mes	kWh/año
Motor rotador emulsión	8.2	4	0.9	29.5	147.6	1,771.2
Bomba de asfalto	11.2	4	0.9	40.3	201.4	2,417.0
Motor de mezcladora	22.4	4	0.9	80.5	402.7	4,831.9

##### **Situación propuesta.**

Se propone cambiar los motores por unos de la misma capacidad (o una que de igual manera pueda realizar el trabajo actual), con una mayor eficiencia.

##### **Viabilidad técnica:**

Cuando un motor tiene mucho tiempo de uso, éste pierde eficiencia a tal punto que el gasto energético eléctrico aumenta. Si a eso se suman los gastos de reparaciones y/o rebobinados, la rentabilidad de la producción va disminuyendo. Por lo tanto, se propone sustituir dichos motores por otros de alta eficiencia (92% y 93%) de capacidad de 10 HP, 15 HP y 30 HP; asumiendo un solo rebobinado a la fecha para



cada motor, con un costo de \$250 anuales con 216 horas de uso por año en promedio.

### **Viabilidad económica:**

El análisis de los cambios de motores desde la perspectiva económica se basa en el ahorro de consumo eléctrico que se traduce en dinero. Las especificaciones actuales y recomendadas para cada uno de los motores se describen a continuación.

### **Motor rotador de emulsión:**

**Tabla 4.27 Especificaciones actuales y propuestas para motor rotador de emulsión.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Eficiencia actual:</b>	78	%
<b>Potencia actual:</b>	11	HP
<b>Fracción de carga actual:</b>	0.8	
<b>Número de rebobinados:</b>	1	veces
<b>Costo de rebobinado</b>	250	US\$/año
<b>Eficiencia actual real:</b>	75	%
<b>Eficiencia propuesta:</b>	93	%
<b>Potencia propuesta:</b>	10	HP
<b>Horas de uso:</b>	216	hora/año

Para calcular la eficiencia real actual se hace en función del número de rebobinados a la fecha:

$$Eficiencia\ real\ actual = Eficiencia\ actual - 3(N^{\circ}\ de\ veces\ de\ rebobinado)^3$$

(Ecuación 4.12, )

$$Eficiencia\ real\ actual = 78 - 3(1)$$

$$Eficiencia\ real\ actual = 75 \%$$

Conociendo la eficiencia real actual y la que se propone, se puede calcular la potencia ahorrada al implementar esta medida.

<sup>3</sup> Vaquero Andrade, N. M. (2016), Material de apoyo cátedra “Producción Más Limpia y Eficiencia Energética”

$Ahorro consumo eléctrico anual = Potencia_{propuesta} \cdot Fracción de carga \cdot Horas \cdot$

$$\left[ \frac{1}{Ef_{real actual}} - \frac{1}{Ef_{propuesta}} \right]^4 \text{ (Ecuación 4.13.)}$$

$$Potencia_{propuesta} = 10 \text{ HP} = 7.5 \text{ kW}$$

$$Ahorro consumo eléctrico anual = (7.5 \text{ kW})(0.8) \left( 246 \frac{h}{año} \right) \left( \frac{1}{0.75} - \frac{1}{0.93} \right)$$

$$Ahorro consumo eléctrico anual = 332.7 \frac{kWh}{año}$$

### Motor de bomba de asfalto:

**Tabla 4.28 Especificaciones actuales y propuestas para motor de bomba de asfalto.**

Fuente: Elaboración propia.

<b>Eficiencia actual:</b>	78	%
<b>Potencia actual:</b>	15	HP
<b>Fracción de carga actual:</b>	0.8	
<b>Número de rebobinados:</b>	1	veces
<b>Costo de rebobinado</b>	250	US\$/año
<b>Eficiencia actual real:</b>	75	%
<b>Eficiencia propuesta:</b>	93	%
<b>Potencia propuesta:</b>	15	HP
<b>Horas de uso:</b>	216	hora/año

Para calcular la eficiencia real actual se hace en función del número de rebobinados a la fecha al igual que con el motor anterior, haciendo uso de la ecuación 4.12:

$$Eficiencia real actual = Eficiencia actual - 3(N^{\circ} de veces de rebobinado)$$

$$Eficiencia real actual = 78 - 3(1)$$

$$Eficiencia real actual = 75 \%$$

Conociendo la eficiencia real actual y la que se propone, se puede calcular la potencia ahorrada al implementar esta medida con la ecuación 4.13.

<sup>4</sup> Vaquero Andrade, N. M. (2016), Material de apoyo cátedra "Producción Más Limpia y Eficiencia Energética"

$Ahorro consumo \acute{e}lctrico anual = Potencia_{propuesta} \cdot Fracci3n\ de\ carga \cdot Horas \cdot$

$$\left[ \frac{1}{Ef_{real\ actual}} - \frac{1}{Ef_{propuesta}} \right]$$

$$Potencia_{propuesta} = 15\ HP = 11.2\ kW$$

$$Ahorro\ consumo\ el\acute{e}ctrico\ anual = (11.2\ kW)(0.8) \left( 246 \frac{h}{a\tilde{n}o} \right) \left( \frac{1}{0.75} - \frac{1}{0.93} \right)$$

$$Ahorro\ consumo\ el\acute{e}ctrico\ anual = 499.0 \frac{kWh}{a\tilde{n}o}$$

### Motor de mezcladora:

**Tabla 4.29 Especificaciones actuales y propuestas para motor de mezcladora.**

Fuente: Elaboraci3n propia.

<b>Eficiencia actual:</b>	78	%
<b>Potencia actual:</b>	30	HP
<b>Fracci3n de carga actual:</b>	0.8	
<b>N3mero de rebobinados:</b>	1	veces
<b>Costo de rebobinado</b>	250	US\$/año
<b>Eficiencia actual real:</b>	75	%
<b>Eficiencia propuesta:</b>	93	%
<b>Potencia propuesta:</b>	30	HP
<b>Horas de uso:</b>	216	hora/año

Para calcular la eficiencia real actual se hace en funci3n del n3mero de rebobinados a la fecha de igual forma que con los dos motores anteriores:

$$Eficiencia\ real\ actual = Eficiencia\ actual - 3(N^{\circ}\ de\ veces\ de\ rebobinado)$$

$$Eficiencia\ real\ actual = 78 - 3(1)$$

$$Eficiencia\ real\ actual = 75\ \%$$

Conociendo la eficiencia real actual y la que se propone, se puede calcular la potencia ahorrada al implementar esta medida, siempre haciendo uso de la ecuaci3n 4.4.

*Ahorro consumo eléctrico anual* =  $Potencia_{propuesta} \cdot Fracción\ de\ carga \cdot Horas \cdot$

$$\left[ \frac{1}{Ef_{real\ actual}} - \frac{1}{Ef_{propuesta}} \right]$$

$$Potencia_{propuesta} = 30\ HP = 22.4\ kW$$

$$Ahorro\ consumo\ eléctrico\ anual = (22.4\ kW)(0.8) \left( 246\ \frac{h}{año} \right) \left( \frac{1}{0.75} - \frac{1}{0.93} \right)$$

$$Ahorro\ consumo\ eléctrico\ anual = 998.0\ \frac{kWh}{año}$$

Para calcular el ahorro económico anual, se hace en base al precio de la energía para la planta que es de \$0.13 /kWh y los \$250 por rebobinado anual:

$$Ahorro\ económico = \left( 332.7\ \frac{kWh}{año} + 499.0\ \frac{kWh}{año} + 998.0\ \frac{kWh}{año} \right) \left( 0.13\ \frac{US\$}{kWh} \right) + 3 \left( 250\ \frac{US\$}{año} \right)$$

$$Ahorro\ económico = 987.9\ \frac{US\$}{año}$$

De acuerdo con los proveedores de motores E-motors y Siemens, la inversión del motor de 10 HP es de \$649.00; el de 15 HP es de \$870.00 y el de 30 HP es de \$1,700.00. Calculando el período simple de recuperación (PSRI):

$$PSRI = \frac{Inversión}{Ahorro\ económico} \text{ (Ecuación 4.14.)}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$PSRI = \frac{\$649 + \$870 + \$1,700}{\$987.9/año} = 3.3\ años$$

### **Viabilidad ambiental:**

En este punto la potencia ahorrada debe traducirse a emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El factor de emisión a utilizar es el mismo descrito en la sección 4.2.4. de este mismo documento, que tiene un valor de 0.6906 Ton CO<sub>2</sub>/MWh

$Beneficio\ ambiental = (Factor\ de\ emisión)(Potencia\ ahorrada)$  (Ecuación 4.15.)

$$= \left(0.6906 \frac{Ton\ CO_2}{MWh}\right) \left(0.3327 \frac{MWh}{año} + 0.499 \frac{MWh}{año} + 0.998 \frac{MWh}{año}\right) = 1.3 \frac{Ton\ CO_2}{año}$$

En el siguiente cuadro se resumen las viabilidades económica y ambiental.

**Tabla 4.30 Resumen de la medida de eficiencia energética cambio de motores a implementar.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Nombre de la Medida de EE</b>	Cambio de motores de alta eficiencia.
<b>Tecnología Propuesta:</b>	Motores de alta eficiencia de 10 HP, 15 HP y 30 HP de capacidad.
<b>Consumo actual:</b>	9,020.2 kWh/año
<b>Consumo propuesto:</b>	7,190.5 kWh/año
<b>Ahorro:</b>	1,829.7 kWh/año
<b>% de Ahorro logrado por la tecnología:</b>	20.3%
<b>Beneficio económico:</b>	987.9 US\$/año
<b>Inversión:</b>	3,219.0 US\$
<b>PSRI:</b>	3.3 años
<b>Vida útil de la tecnología:</b>	15 años
<b>Beneficio Ambiental:</b>	1.3 Ton CO <sub>2</sub> /año

#### 4.3.4.4. Cambio de quemadores que funcionan con queroseno por quemadores de gas.

##### **Situación actual.**

Actualmente, para los procesos en estudio se hace uso de 5 quemadores descritos en la sección de consumidores energéticos térmicos (véase sección 4.2.5), que funcionan con queroseno como combustible, de acuerdo con la información descrita

en la tabla 4.18 el volumen anual de este combustible que consumen equivale a 3,130 galones, lo que corresponde a 401.9 GJ al año de energía requerida.

### **Situación propuesta.**

Se sugiere el cambio de los 5 quemadores involucrados en el proceso por un modelo mucho más eficiente y que hace uso de combustibles gaseosos, el equipo propuesto es el quemador de gas CG10-24 marca Beckett, que posee la capacidad de funcionar con 2 tipos de combustibles como lo son Gas Licuado de Petróleo y Gas Natural, este modelo de quemador tiene una capacidad de generación de energía superior a los actuales, con 952,000 BTU/h como potencia máxima, de acuerdo con su información de placa.

### **Viabilidad técnica:**

En esta propuesta la viabilidad técnica se orienta a un cambio tecnológico con mejora en la potencia de calentamiento, principalmente porque los actuales quemadores con los que se realizan los diversos procesos de calentamiento poseen un periodo de uso muy prolongado; La información que se estableció en la sección de los consumidores energéticos térmicos está basada en los datos aportados por la identificación del modelo de quemador a través de su placa, sin embargo cabe resaltar que estos quemadores ya llevan varios años en uso y su rendimiento naturalmente no será el que posee como equipo nuevo, este se ve afectado por la depreciación eventual de los equipos al alcanzar su máximo de vida útil.

Actualmente los quemadores funcionan con queroseno como combustible, si se asume que la generación de energía del quemador es la reportada por su información de placa, estos poseen una potencia máxima de 770,000 BTU/h cada uno.

La propuesta sugiere que se sustituyan todos estos quemadores requeridos en el proceso productivo, por quemadores que poseen una potencia de calentamiento

mayor a la actual; El modelo propuesto posee de acuerdo con el fabricante una potencia máxima de 952,000 BTU/h cada quemador.

Al comparar ambas potencias máximas se observa que en el mismo periodo de tiempo el equipo propuesto genera 182,000 BTU más que los quemadores actuales, lo que significa un periodo más corto de calentamiento para los volúmenes de agua, asfalto y aceite térmico, consecuentemente una reducción en el tiempo de producción.

**Viabilidad económica:**

Para su estimación se debe plantear inicialmente los parámetros bajo los que se encuentran los actuales quemadores y el costo anual que le representan a la empresa ejemplo el producir la cantidad de energía requerida al año.

De acuerdo con los datos de placa para generar los 770,000 BTU/h se requieren 5.5 galones de queroseno por hora. Si se toma en cuenta que al igual que los motores utilizados en el proceso, estos quemadores funcionan 216 horas anuales y que en total son 5 quemadores; Se estima la conversión de los BTU anuales necesarios y por consiguiente el volumen de queroseno que se usa anualmente para todos los quemadores en base a los datos de placas así:

$$\frac{BTU}{año} (1 Quemador) = \frac{770,000 BTU}{h} * \frac{216 h}{1 año} = 166,320,000 \frac{BTU}{año}$$

Ahora se estima los BTU que se generan por galón de acuerdo con los datos de placa.

$$\frac{BTU}{galón} (1 Quemador) = \frac{770,000 BTU}{hora} * \frac{1 hora}{5.5 Galones} = 140,000 \frac{BTU}{galón}$$

De acuerdo con los datos previamente estimados se puede estimar el volumen de queroseno requerido anualmente por los 5 quemadores así:

$$\frac{\text{Galones de Queroseno}}{\text{año}} = \frac{166_1320,000 \text{ BTU}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ galón}}{140,000 \text{ BTU}} * 5 \text{ quemadores}$$

$$= 5,940 \frac{\text{galones}}{\text{año}}$$

De acuerdo con la tabla de distribución del consumo de queroseno que se basa en datos proporcionados por la empresa ejemplo de su consumo real, el volumen anual requerido es menor al estimado con los datos de placa; Esta diferencia se debe a que las estimaciones con base a los datos de placa se realizan a la potencia máxima que genera el quemador, aunque en la práctica esta potencia máxima ya no sea posible de lograr debido a la disminución de rendimiento por la reducción natural de vida útil de los quemadores y por consiguiente su eficiencia, lo que se refleja en un mayor consumo de combustible para lograr la energía requerida.

Para la determinación de las viabilidades se hace uso de los datos de placa de los actuales quemadores en lugar de los valores reales, para poder comparar de manera ecuánime con los datos de placa de los quemadores propuestos y de esta forma tener el mismo punto de referencia.

El resumen de los datos de la tecnología actual a comparar se encuentra en el siguiente cuadro:

**Tabla 4.31 Resumen de quemadores actuales.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>PARÁMETROS DE TECNOLOGÍA ACTUAL</b>		
<b>Número de quemadores</b>	5	unidades
<b>Potencia anual requerida actualmente</b>	831.6	MBTU
<b>Volumen anual consumidos de queroseno según datos de placa</b>	5,940	galones/año
<b>Precio de queroseno</b>	2.5	US\$/galón
<b>Costo anual total de queroseno</b>	<b>14,850</b>	US\$/año



Se estima el costo anual que implica el consumo del combustible para los quemadores actuales, a través de la multiplicación del volumen anual de queroseno requerido por los procesos estudiados en el año de referencia, por el costo que tiene cada galón de queroseno:

$$\text{Costo anual de queroseno} = 5,940 \frac{\text{gal}}{\text{año}} * 2.5 \frac{\text{US\$}}{\text{galón}} = \mathbf{14,850} \frac{\text{US\$}}{\text{año}}$$

Ahora se plantean los ahorros por la implementación de la medida; Ya que el modelo de quemador funciona con Gas Licuado de Petróleo, se expondrán en la siguiente tabla los datos para dicho combustible y los costos anuales que se producen al requerir la generación de los mismos 831.6 MBTU de energía, obtenidos con la potencia máxima de los actuales quemadores según datos de placa.

**Tabla 4.32 Resumen de tecnología propuesta.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>PARÁMETROS DE TECNOLOGÍA PROPUESTA GLP</b>		
<b>Poder calorífico</b>	49.15	MJ/kg
<b>Potencia anual requerida</b>	877,384	MJ/año
<b>Masa anual de GLP</b>	17,851.1	Kg/año
<b>Precio (Precio base de la estructura de comercialización) de GLP</b>	0.72	US\$/Kg
<b>Costo anual del GLP</b>	<b>12,839.4</b>	US\$/año

Para el caso del Gas Licuado de Petróleo se divide la potencia anual requerida (en mega Joule) entre el poder calorífico del combustible, obteniéndose de esta forma la masa de propano que se requeriría anualmente; Luego esta masa se multiplica por el precio del GLP por kg del mismo y se obtienen el costo anual que implicaría el uso de dicho combustible, así:

$$\text{Masa Anual de GLP} = \frac{877,384 \frac{\text{MJ}}{\text{año}}}{49.15 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}}} = \mathbf{17,851.1} \frac{\text{Kg}}{\text{año}}$$

$$\text{Costo Anual de GLP} = 17,851.1 \frac{\text{kg}}{\text{año}} * 0.72 \frac{\text{US\$}}{\text{Kg}} = \mathbf{12,839.4 \frac{\text{US\$}}{\text{año}}}$$

Con dicho costo anual generado por la nueva tecnología se puede estimar los ahorros que genera su implementación, simplemente restando al costo actual el monto propuesto de la siguiente manera:

$$\text{Ahorro por uso de GLP} = 14,850 \frac{\text{US\$}}{\text{año}} - 12,839.4 \frac{\text{US\$}}{\text{año}} = \mathbf{2,010.6 \frac{\text{US\$}}{\text{año}}}$$

Por último, se establece el periodo simple de recuperación de la inversión mediante el monto de la inversión, de acuerdo con el proveedor Beckett Corp ubicado en los Estados Unidos de América, el modelo seleccionado posee un costo de US\$ 1,590 y un periodo de vida útil de 15 años, este valor solamente incluye el flete hasta el estado de Florida, es decir que los costos de la inversión que se plantean excluyen los montos de transporte o envío a El Salvador.

Ya que lo que se pretende es una sustitución de los 5 quemadores este monto se multiplica por los 5 que representa a la totalidad de la tecnología a sustituir y se obtiene el valor de la inversión:

$$\text{Inversión Total} = 5 * \text{US\$ } 1,590 = \mathbf{\text{US\$ } 7,950}$$

Se establece un PSRI para la propuesta así:

Gas Licuado de Petróleo:

$$\text{PSRI} = \frac{\text{Inversión Total}}{\text{Ahorros anuales}} = \frac{\text{US\$ } 7,950}{\frac{\text{US\$ } 2,010.6}{\text{año}}} = \mathbf{3.9 \text{ años}}$$

### **Viabilidad ambiental:**

Para el caso se pretende determinar las emisiones actualmente generadas por el uso de los quemadores a base de queroseno, y posteriormente determinar las emisiones del combustible propuesto con el que funciona la nueva tecnología a implementar, de tal forma que se puede vislumbrar una reducción en las emisiones y considerar así si el proyecto es ambientalmente viable o no.

Para ellos se presentan los siguientes cuadros que resumen la información necesaria para la estimación.

**Tabla 4.33 Parámetros para queroseno.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Energía requerida por el proceso productivo</b>	0.88	TJ/año
<b>Factor de emisión</b>	71.9	ton CO <sub>2</sub> /TJ
<b>Ton CO<sub>2</sub> Generados anual</b>	<b>63.3</b>	Ton CO <sub>2</sub> /año

**Tabla 4.34 Parámetros para. GLP**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Potencia anual requerida</b>	0.88	TJ/año
<b>Factor de emisión</b>	65.7	Ton CO <sub>2</sub> /TJ
<b>Ton CO<sub>2</sub> Generados anual</b>	<b>57.8</b>	Ton CO <sub>2</sub> /año

Para los dos tipos de combustible se multiplica la potencia requerida por el proceso productivo en el año base, por los respectivos factores de emisión dando como resultado las Toneladas de CO<sub>2</sub> que generan cada tipo de combustible usado.

Como ejemplo de cálculo se hará la estimación para el GLP así:

$$\text{Ton CO}_2 \text{ Generados anual} = 0.88 \frac{\text{TJ}}{\text{año}} * 65.7 \text{ Ton} \frac{\text{CO}_2}{\text{TJ}} = \mathbf{57.8 \text{ Ton} \frac{\text{CO}_2}{\text{año}}}$$

De igual forma para el queroseno; Una vez establecidas las emisiones de la nueva tecnología propuesta, esta se resta de las emisiones que actualmente se generan dando como resultado el ahorro ambiental, es decir las toneladas de emisiones que

no se generan con el uso de los nuevos quemadores, como ejemplo se tiene para el GLP:

$$\text{Emisiones evitadas} = \text{Emisiones por queroseno} - \text{Emisiones por GLP}$$

(Ecuación 4.16.)

$$\text{Emisiones evitadas} = 63.3 \text{ Ton} \frac{\text{CO}_2}{\text{año}} - 57.8 \text{ Ton} \frac{\text{CO}_2}{\text{año}} = 5.5 \text{ Ton} \frac{\text{CO}_2}{\text{año}}$$

En el siguiente cuadro los resultados del análisis de viabilidad técnico, ambiental y económico.

**Tabla 4.35 Resumen de la medida cambio de quemadores a implementar.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Tipo de Combustible</b>	Gas Licuado de Petróleo
<b>Nombre de la Medida de EE</b>	Cambio de quemador
<b>Tecnología Propuesta:</b>	Quemador cuyo combustible es Gas licuado de petróleo
<b>Consumo actual de queroseno:</b>	5,940 gal/año
<b>Potencia actual requerida:</b>	877,384 MJ/año
<b>Consumo de combustible propuesto para potencia requerida:</b>	17,851.1 Kg/año (GLP)
<b>Beneficio económico:</b>	2,010.6 US\$/año
<b>Inversión:</b>	US\$ 7,950
<b>PSRI:</b>	3.9 años
<b>Vida útil de la tecnología:</b>	15 años
<b>Beneficio Ambiental:</b>	5.5 Ton CO <sub>2</sub> /año

Se puede hacer el cambio a la nueva tecnología usando el Gas Licuado de Petróleo como combustible, este es viable en los diferentes aspectos evaluados.

#### 4.3.4.5. Aislamiento de tuberías de transporte de asfalto.

##### **Situación actual:**

Actualmente las tuberías que conducen el asfalto como producto terminado hasta su almacenamiento o transporte no se encuentran aisladas lo que genera pérdidas de calor hacia el ambiente.

Se pierden alrededor de 20 a 30°C de temperatura desde la salida de los tanques de producto terminado y a lo largo de todo el recorrido de las tuberías.

**Tabla 4.36 Datos generales de tubería de transporte de asfalto.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Diámetro de Tubería (pulgadas)</b>	<b>Longitud (metros)</b>	<b>Temperatura de Superficie (°C)</b>
4	13.65	145
3	12.27	145

##### **Situación propuesta:**

Se recomienda colocar aislante de fibra de vidrio en las tuberías que transportan el asfalto y que están en contacto directo con el ambiente, para disminuir las pérdidas de calor de las tuberías y evitar que el asfalto se vuelva demasiado viscoso causando taponamiento en las tuberías y dificultad de movilización.

##### **Viabilidad técnica:**

Para calcular la cantidad de calor que se pierde en la movilización del asfalto se procede de la siguiente manera:

##### **Pérdidas sin aislamiento (Tubería de 3", tramo 12.27 metros):**

**Tabla 4.37 Resumen de parámetros a utilizar en la estimación de pérdidas sin aislamiento.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Abreviación</b>	<b>Significado</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
C	Coefficiente de forma para tuberías	Adimensional	1.016
Esp	Espesor del material aislante	m	0

Continua.

**Tabla 4.37 Resumen de parámetros a utilizar en la estimación de pérdidas sin aislamiento (Continuación).**

Fuente: Elaboración propia.

Abreviación	Significado	Unidades	Valor
Top	Temperatura de operación	K	418.15
Tsup	Temperatura supuesta de la superficie del termoaislante	K	418.15
Ta	Velocidad del viento	K	303.15
Kais	Emisividad de la superficie aislada	W/mK	50.2
V	Diámetro exterior de la tubería sin aislamiento	m/h	-
Emss	Emisividad de la superficie aislada	Adimensional	0.79
do	Diámetro exterior de la tubería sin aislamiento	m	0.0762

Paso 1: Cálculo del diámetro aislado, da (m).

$$d_a = d_o + 2 * Esp \text{ (Ecuación 4.17.)}$$

$$d_a = 0.0762 + 2 * 0 = \mathbf{0.0762}$$

Paso 2: Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convención natural y forzada, desde la superficie aislada hacia el ambiente, hc (W/m²K).

$$h_c = [2.7241 * C * (d_a)^{-0.2}] * \left[ \frac{1.11}{T_{sup} + T_a - 510.44} \right]^{0.181} * [1.8 * (T_{sup} - T_a)]^{0.266} * (1 + 7.9366x10^{-4} * V)^{0.5} \text{ (Ecuación 4.18.)}$$

$$h_c = [2.7241 * 1.016 * (0.0762 \text{ m})^{-0.2}] * \left[ \frac{1.11}{418.15 \text{ K} + 303.15 \text{ K} - 510.44} \right]^{0.181} * [1.8 * (418.15 \text{ K} - 303.15 \text{ K})]^{0.266} * (1 + 7.9366x10^{-4} * 0)^{0.5}$$

$$h_c = \frac{\mathbf{7.4 \text{ W}}}{\mathbf{m^2K}}$$

Paso 3: Cálculo de coeficiente de transferencia de calor por radiación,  $h_r$  (W/m<sup>2</sup>K).

$$h_r = 0.9824 \times 10^{-8} * Em_{ss} * \left[ \frac{T_a^4 - T_{sup}^4}{T_a - T_{sup}} \right] \text{ (Ecuación 4.19.)}$$

$$h_r = 0.9824 \times 10^{-8} * 0.79 * \left[ \frac{(303.15 \text{ K})^4 - (418.15 \text{ K})^4}{303.15 \text{ K} - 418.15 \text{ K}} \right]$$

$$h_r = \frac{1.5 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Paso 4: Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor,  $h_s$  (W/m<sup>2</sup>K).

$$h_s = h_c + h_r \text{ (Ecuación 4.19.)}$$

$$h_s = \frac{7.4 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ K}} + \frac{1.5 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ K}} = \frac{8.9 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Paso 5: Cálculo del flujo de calor,  $q$  (W/m).

$$q = \frac{3.1416 * (T_{op} - T_a)}{\left( \frac{1}{(2 * k_{ais})} \right) * \left( \ln \frac{d_a}{d_o} \right) + (1 * (h_s * d_a))} \text{ (Ecuación 4.20.)}$$

$$q = \frac{3.1416 * (418.15 \text{ K} - 303.15 \text{ K})}{\left( \frac{1}{2 * \frac{50.2 \text{ W}}{\text{mK}}} \right) * \left( \ln \frac{0.0762}{0.0762} \right) + (1 * \left( \frac{8.9 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ K}} * 0.0762 \text{ m} \right))}$$

$$q = \frac{244.88 \text{ J}}{\text{sm}}$$

Paso 6:

Luego se realiza la conversión a Kcal/mh de la siguiente manera:

$$q = \frac{244.88 \text{ J}}{\text{sm}} * \frac{0.2388 \text{ kcal}}{1 \text{ J}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hora}} / 1000 = \frac{210.52 \text{ Kcal}}{\text{mh}}$$

Paso 7:

Posteriormente se obtiene el flujo de calor total, multiplicando por los metros de tubería que se tiene:

$$q_t = \frac{210.52 \text{ Kcal}}{\text{mh}} * 12.27 \text{ m} = \frac{2583.04 \text{ Kcal}}{\text{h}}$$

Paso 8: Pérdidas totales anuales por falta de aislamiento.

$Pérdidas\ totales\ anuales = q_t * horas\ de\ operación\ (Ecuación\ 4.21.)$

$$Pérdidas\ totales\ anuales = \frac{2583.04\ Kcal}{h} * \frac{1,040\ h}{año} = \frac{2,686,356.88\ kcal}{año}$$

**Pérdidas con aislamiento (Tubería de 3", tramo 12.27 metros):**

**Tabla 4.38 Resumen de parámetros a utilizar en la estimación de pérdidas con aislamiento.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Abreviación	Significado	Unidades	Valor
C	Coefficiente de forma para tuberías	Adimensional	1.016
Esp	Espesor del material aislante	m	0.0254
Top	Temperatura de operación	K	418.15
Tsup	Temperatura supuesta de la superficie del termoaislante	K	418.15
Ta	Velocidad del viento	K	303.15
Kais	Emisividad de la superficie aislada	W/mK	0.04 (Fibra de vidrio)
V	Diámetro exterior de la tubería sin aislamiento	m/h	-
Emss	Emisividad de la superficie aislada	Adimensional	0.79
do	Diámetro exterior de la tubería sin aislamiento	m	0.0762

Paso 1: Cálculo del diámetro aislado, da (m).

$$d_a = d_o + 2 * Esp\ (Ecuación\ 4.22.)$$

$$d_a = 0.0762\ m + 2 * 0.0254\ m = \mathbf{0.127\ m}$$

Paso 2: Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural y forzada, desde la superficie aislada hacia el ambiente, hc (W/m²K).



$$h_c = [2.7241 * C * (d_a)^{-0.2}] * \left[ \frac{1.11}{T_{sup} + T_a - 510.44} \right]^{0.181} * [1.8 * (T_{sup} - T_a)]^{0.266} * (1 + 7.9366x10^{-4} * V)^{0.5} \text{ (Ecuación 4.23.)}$$

$$h_c = [2.7241 * 1.016 * (0.127 \text{ m})^{-0.2}] * \left[ \frac{1.11}{418.15 \text{ K} + 303.15 \text{ K} - 510.44} \right]^{0.181} * [1.8 * (418.15 \text{ K} - 303.15 \text{ K})]^{0.266} * (1 + 7.9366x10^{-4} * 0)^{0.5}$$

$$h_c = \frac{6.7 \text{ W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Paso 3: Cálculo de coeficiente de transferencia de calor por radiación,  $h_r$  (W/m<sup>2</sup>K).

$$h_r = 0.9824x10^{-8} * Em_{ss} * \left[ \frac{T_a^4 - T_{sup}^4}{T_a - T_{sup}} \right] \text{ (Ecuación 4.23.)}$$

$$h_r = 0.9824x10^{-8} * 0.79 * \left[ \frac{(303.15 \text{ K})^4 - (418.15 \text{ K})^4}{303.15 \text{ K} - 418.15 \text{ K}} \right]$$

$$h_r = \frac{1.5 \text{ W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Paso 4: Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor,  $h_s$  (W/m<sup>2</sup>K).

$$h_s = h_c + h_r \text{ (Ecuación 4.24.)}$$

$$h_s = \frac{6.7 \text{ W}}{\text{m}^2\text{K}} + \frac{1.5 \text{ W}}{\text{m}^2\text{K}} = \frac{8.2 \text{ W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Paso 5: Cálculo del flujo de calor,  $q$  (W/m).

$$q = \frac{3.1416 * (T_{op} - T_a)}{\left( \frac{1}{(2 * k_{ais})} \right) * \left( \ln \frac{d_a}{d_o} \right) + (1 * (h_s * d_a))} \text{ (Ecuación 4.25.)}$$

$$q = \frac{3.1416 * (418.15 \text{ K} - 303.15 \text{ K})}{\left( \frac{1}{2 * \frac{0.04 \text{ W}}{\text{mK}}} \right) * \left( \ln \frac{0.127}{0.0762} \right) + (1 * \left( \frac{8.2 \text{ W}}{\text{m}^2\text{K}} * 0.127 \text{ m} \right))}$$

$$q = \frac{49.17 J}{sm}$$

**Paso 6:**

Luego se realiza la conversión a Kcal/mh de la siguiente manera:

$$q = \frac{49.17 J}{sm} * \frac{0.2388 kcal}{1 J} * \frac{3600 s}{1 hora} / 1000 = \frac{42.27 Kcal}{mh}$$

**Paso 7:**

Posteriormente se obtiene el flujo de calor total con aislamiento, multiplicando por los metros de tubería que se tiene:

$$q_{ta} \frac{42.27 Kcal}{mh} * 12.27m = \frac{518.61 Kcal}{h}$$

**Paso 8: Pérdidas totales anuales por falta de aislamiento.**

$$Pérdidas\ totales\ anuales = q_{ta} * horas\ de\ operación\ (Ecuación\ 4.26.)$$

$$Pérdidas\ totales\ anuales = \frac{518.61 Kcal}{h} * \frac{1,040 h}{año} = \frac{539,351.15 kcal}{año}$$

De la misma manera se procede para el tramo de tubería correspondiente a 13.65 m con diámetro de 4".

Obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 4.39 Cuadro resumen de datos estimados para los tramos de tubería estudiados.**

*Fuente: Elaboración propia.*

	<b>Con aislamiento</b>	<b>Sin aislamiento</b>
Diámetro aislado (m)	0.1524	0.1016
Coefficiente de transferencia de calor por convección natural y forzada. (W/m²K)	6.55	7.0

Continua.

**Tabla 4.39 Cuadro resumen de datos estimados para los tramos de tubería estudiados (Continuación).**

Fuente: Elaboración propia.

	Con aislamiento	Sin aislamiento
Coefficiente de transferencia de calor por radiación (W/m <sup>2</sup> K)	1.5	1.5
Coefficiente global de transferencia de calor (W/m <sup>2</sup> K)	8.01	8.5
Flujo de calor (kcal/mh)	55.05	267.63
Flujo de calor (kcal/h)	751.42	3,653.14
Pérdidas totales anuales (kcal/año)	781,473.93	3,799,262.75

Con el aislamiento de ambos tramos de tubería se obtienen los siguientes ahorros:

Ahorro energético:

$$\frac{kcal}{año \text{ totales}} = \frac{kcal}{año \text{ tramo } 3"} + \frac{kcal}{año \text{ tramo } 4"} \quad (\text{Ecuación 4.27.})$$

$$\frac{kcal}{año \text{ totales}} = \frac{2,147,005.73 \text{ kcal}}{año} + \frac{3,017,788.82 \text{ kcal}}{año} = \frac{5,164,794.55 \text{ kcal}}{año}$$

Ahorro en combustible:

$$\begin{aligned} \frac{5,164,794.55 \text{ kcal}}{año} * \frac{4.184 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}} &= \frac{21,609,500.5 \text{ kJ}}{año} \\ \frac{21,609,500.5 \text{ kJ}}{\frac{42800 \text{ kJ}}{kg}} &= \frac{504.9 \text{ kg}}{año} \\ \frac{504.9 \text{ kg}}{\frac{3 \text{ kg}}{gal}} &= \frac{168.3 \text{ galones}}{año} \end{aligned}$$

Viabilidad económica:

El beneficio económico se obtiene en función del combustible no utilizado para calentar las tuberías cuando estas se enfrían.

$$\frac{168.3 \text{ gal de queroseno}}{\text{año}} * \frac{2.5 \text{ US\$}}{\text{gal}} = \frac{420.75 \text{ US\$}}{\text{año}}$$

El precio del metro lineal del aislante por tubería es de aproximadamente US\$ 50.0. Este precio puede variar en función de los diámetros de la tubería y el material aislante.

$$\frac{50.0 \text{ US\$}}{\text{metro lineal}} * \text{metros de tubería a aislar} = \frac{50.0 \text{ US\$}}{\text{metro lineal}} * ((12.27)_{3"} + (13.65)_{4"})$$

$$= 1,296 \text{ US\$}$$

$$PSRI = \frac{\text{Inversión anual}}{\text{Ahorros totales}} = \frac{1,296 \text{ US\$}}{420.75 \text{ US\$}} = 3.1 \text{ años}$$

### **Viabilidad ambiental:**

El beneficio ambiental se cuantifica en función de las toneladas de CO<sub>2</sub> no emitidas por el uso de combustibles, para el caso el queroseno.

$$\text{Ton } CO_2 = \frac{21,609,500.4 \text{ kJ}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ TJ}}{1,000,000,000 \text{ kJ}} * \frac{71.9 \text{ Ton } CO_2}{\text{TJ}} = \frac{1.55 \text{ Ton } CO_2}{\text{año}}$$

**Tabla 4.40 Resumen de la medida aislamiento de tuberías a implementar.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Nombre de la Medida de EE</b>	Aislamiento de tuberías de transporte de asfalto.
<b>Tecnología Propuesta:</b>	Insulación de fibra de vidrio.
<b>Consumo actual:</b>	3,129.6 gal/año
<b>Consumo propuesto:</b>	2,961.3 gal/año
<b>Ahorro:</b>	168.3 gal/año
<b>% de Ahorro logrado por la tecnología:</b>	5.4%
<b>Beneficio económico:</b>	420.75 US\$/año

Continua.

**Tabla 4.40 Resumen de la medida aislamiento de tuberías a implementar**  
(Continuación).

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Inversión:</b>	1,296.0 US\$
<b>PSRI:</b>	3.1 años
<b>Vida útil de la tecnología:</b>	15 años
<b>Beneficio Ambiental:</b>	1.55 Ton CO <sub>2</sub> /año
<b>TIR</b>	30%
<b>VAN</b>	1,731.0 US\$
<b>Período de financiamiento</b>	15 años

Como complemento a la medida propuesta se sugieren las siguientes recomendaciones adicionales para optimizar el uso de combustible en el proceso:

- a. La empresa cuenta con una caldera para calentamiento de aceite térmico lo que requiere alrededor de 3 a 4 galones de queroseno cada vez que se utiliza, quedando en funcionamiento por más del tiempo necesario (2 horas), se recomienda usarla solo el tiempo necesario para reducir el uso de combustible.
- b. Realizar mantenimiento preventivo en tuberías, ya que el mantenimiento correctivo el cual consiste en el lavado de todas ellas con queroseno para evitar taponamiento, utiliza entre 5 y 8 galones de combustible cada vez que se presenta un problema.

#### **4.4. ETAPA IV. FACTIBILIDAD.**

En este apartado se presenta la proyección económica referente a ahorros e inversión que se podrían obtener al implementar las medidas de producción más limpias descritas anteriormente en las instalaciones de la empresa ejemplo.

#### 4.4.1. ANÁLISIS ECONÓMICO Y PROYECCIÓN DE AHORROS POR IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA.

Se realiza un flujo de caja para un período de 15 años basado en la vida útil de la mayoría de los equipos recomendados.

La inflación anual acumulada promedio que presentó El Salvador para el año 2014 fue de 1.9%<sup>5</sup>; en cuanto a la tasa incremental de costo de energía eléctrica anual para El Salvador es del 3%.

**Tabla 4.41 Parámetros para Flujo de Caja.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Tasa de inflación	1.9%
Tasa incremental del Costo de energía eléctrica anual	3.0%
Tasa incremental del costo de queroseno	3.0%
Período de análisis	15 años
TMAR	9%

Para el caso de la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR), esta fue calculada considerando el capital propio y la deuda adquirida, siendo el porcentaje de aportación de cada uno de ellos correspondiente a un 20% y 80% respectivamente. Asumiendo una TMAR del Banco de 8.0% según tasas de interés de línea de créditos verdes de BANDESAL.

$$\text{Capital propio: } 0.20 * 0.11 = 0.02$$

$$\text{Deuda adquirida: } 0.80 * 0.08 = 0.064$$

$$\text{TMAR} = 0.086$$

$$\text{TMAR del proyecto } 8.6\% = 9\%$$

<sup>5</sup> Asociación Bancaria Salvadoreña, tasa de inflación.

Los costos utilizados para la presente investigación de combustible y de energía eléctrica en horario resto, se presentan a continuación:

**Tabla 4.42 Costo para combustible y energía eléctrica en empresa ejemplo.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Descripción	Precio
Queroseno	2.5 US\$/gal
Energía Eléctrica Horario Resto	0.13 US\$/kWh

De los apartados anteriores se tabulan los ahorros anuales en kWh de energía eléctrica y en galones de queroseno, según la aplicación de la recomendación.

**Tabla 4.43 Ahorros energéticos eléctricos (kWh) y térmicos (galones) por la implementación de medidas de PML y EE.**

*Fuente: Elaboración propia.*

	Medida de implementación	Ahorro Anual
<b>Energía Eléctrica</b>	Cambio de luminarias actuales por tecnología LED.	5,056.8 kWh
	Sustitución de aires acondicionados actuales por tecnología Inverter.	10,239.84 kWh
	Sustitución de motores actuales por motores de alta eficiencia.	1,829.7 kWh
<b>Energía Térmica</b>	Cambio de quemadores base queroseno por LPG. <sup>6</sup>	---
	Aislamiento de tuberías de transporte de asfalto.	168.3 gal

Los ahorros anuales en términos monetarios se presentan en el siguiente cuadro:

<sup>6</sup> El ahorro se refleja económicamente ya que se trata del uso de otro combustible alternativo al queroseno.

**Tabla 4.44 Ahorros monetarios totales por la implementación de las medidas de PML y EE.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Concepto</b>	<b>Anual US\$</b>
Ahorros anuales en combustible (cambio de quemadores y aislamiento de tuberías)	2,430.53
Medidas de eficiencia energética a implementar (sustitución de AA, cambio de luminarias y cambio de motores)	2,976.5
<b>Sub total de ahorros</b>	<b>5,407.03</b>
Costo de energía eléctrica incremental	89.30
Costo de queroseno incremental	72.92
<b>Ahorro total</b>	<b>5,569.24</b>



Los ahorros totales para los 15 años de proyección se presentan en el siguiente cuadro:

**Tabla 4.45 Ahorros monetarios anuales por medida de implementación para el período de proyección.**

*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Ahorros Anuales por Implementación de Medidas de Eficiencia Energética</b>															
<b>Concepto/años</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Sustitución de AA actuales por tecnología Inverter	\$ 1,331.20	\$ 1,364.48	\$ 1,398.59	\$ 1,433.56	\$ 1,469.40	\$ 1,506.13	\$ 1,543.78	\$ 1,582.38	\$ 1,621.94	\$ 1,662.49	\$ 1,704.05	\$ 1,746.65	\$ 1,790.32	\$ 1,835.07	\$ 1,880.95
Aislamiento de tuberías	\$ 420.75	\$ 431.27	\$ 442.05	\$ 453.10	\$ 464.43	\$ 476.04	\$ 487.94	\$ 500.14	\$ 512.64	\$ 525.46	\$ 538.60	\$ 552.06	\$ 565.86	\$ 580.01	\$ 594.51
Cambio de motores	\$ 987.90	\$ 1,012.60	\$ 1,037.91	\$ 1,063.86	\$ 1,090.46	\$ 1,117.72	\$ 1,145.66	\$ 1,174.30	\$ 1,203.66	\$ 1,233.75	\$ 1,264.60	\$ 1,296.21	\$ 1,328.62	\$ 1,361.83	\$ 1,395.88
Cambio de quemadores a LPG	\$ 2,010.60	\$ 2,060.87	\$ 2,112.39	\$ 2,165.20	\$ 2,219.33	\$ 2,274.81	\$ 2,331.68	\$ 2,389.97	\$ 2,449.72	\$ 2,510.96	\$ 2,573.74	\$ 2,638.08	\$ 2,704.03	\$ 2,771.63	\$ 2,840.93
Cambio de luminarias	\$ 657.40	\$ 673.84	\$ 690.68	\$ 707.95	\$ 725.65	\$ 743.79	\$ 762.38	\$ 781.44	\$ 800.98	\$ 821.00	\$ 841.53	\$ 862.57	\$ 884.13	\$ 906.23	\$ 928.89
<b>Ahorro total</b>	<b>\$ 5,407.85</b>	<b>\$ 5,543.05</b>	<b>\$ 5,681.62</b>	<b>\$ 5,823.66</b>	<b>\$ 5,969.25</b>	<b>\$ 6,118.49</b>	<b>\$ 6,271.45</b>	<b>\$ 6,428.23</b>	<b>\$ 6,588.94</b>	<b>\$ 6,753.66</b>	<b>\$ 6,922.51</b>	<b>\$ 7,095.57</b>	<b>\$ 7,272.96</b>	<b>\$ 7,454.78</b>	<b>\$ 7,641.15</b>

En cuanto a la inversión total del proyecto se presenta el costo de los equipos en la siguiente tabla:

**Tabla 4.46 Resumen de inversiones por equipo para implementación de medidas de eficiencia energética.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Medida de recomendación	Inversión (US\$)
Cambio de luminarias actuales por tecnología LED.	1,469.00
Sustitución de aires acondicionados actuales por tecnología Inverter.	10,235.00
Sustitución de motores actuales por motores de alta eficiencia.	3,219.00
Cambio de quemadores base queroseno por LPG.	7,950.00
Aislamiento de tuberías de transporte de asfalto	1,296.00
<b>Inversión Total</b>	<b>24,169.00</b>

Para calcular la depreciación anual para los equipos se utilizará el método de la línea recta:

$$Depreciación\ anual = \frac{Costo\ del\ equipo}{Vida\ útil} \text{ (Ecuación 4.28.)}$$

Por ejemplo, para el ahorro por motores se tiene:

$$Depreciación\ anual = \frac{\$ 3,219}{15\ años} = \frac{\$ 214.6}{año}$$

Depreciación acumulada es:

$$Depreciación\ acumulada\ año\ n = depreciación\ anual + depreciación\ acumulada(n - 1) \text{ (Ecuación 4.29.)}$$

La depreciación acumulada para el año 1, por definición es igual que el valor de la depreciación anual, entonces para el año 2 se tiene que la depreciación anual es:

$$Depreciación\ acumulada\ año\ 2 = \$214.6 + \$214.6 = \$429.2$$

El valor en libros para el año 1 está dado de la siguiente forma:

*Valor en libros año 1 = Costo del equipo – depreciación acumulada (Ecuación 4.30.)*

$$\text{Valor en libros año 1} = \$3,219 - \$429.2 = \$2.789.8$$

A continuación, se muestra el método de depreciación por línea recta para los equipos recomendados en la empresa ejemplo:

**Tabla 4.47 Datos de depreciación para aires acondicionados.**

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Tabla de depreciación: Método de línea recta</b>			
<b>Equipo: Sustitución de AA</b>			
<b>Valor</b>	<b>\$ 10,235.00</b>	<b>Vida útil</b>	<b>10</b>
<b>Valor de Salvamento</b>			<b>-</b>
<b>Depreciación anual</b>			<b>\$ 1,023.5</b>
<b>Año</b>	<b>Depreciación</b>	<b>Depreciación acumulada</b>	<b>Valor en libros</b>
1	\$ 1,023.50	\$ 1,023.50	\$ 9,211.50
2	\$ 1,023.50	\$ 2,047.00	\$ 8,188.00
3	\$ 1,023.50	\$ 3,070.50	\$ 7,164.50
4	\$ 1,023.50	\$ 4,094.00	\$ 6,141.00
5	\$ 1,023.50	\$ 5,117.50	\$ 5,117.50
6	\$ 1,023.50	\$ 6,141.00	\$ 4,094.00
7	\$ 1,023.50	\$ 7,164.50	\$ 3,070.50
8	\$ 1,023.50	\$ 8,188.00	\$ 2,047.00
9	\$ 1,023.50	\$ 9,211.50	\$ 1,023.50
10	\$ 1,023.50	\$ 10,235.00	\$ -

**Tabla 4.48 Datos de depreciación para motores.**

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Tabla de depreciación: Método de línea recta</b>			
<b>Equipo: Motor</b>			
<b>Valor</b>	<b>\$ 3,219.00</b>	<b>Vida útil</b>	<b>15</b>
<b>Valor de Salvamento</b>			<b>-</b>
<b>Depreciación anual</b>			<b>\$ 214.60</b>
<b>Año</b>	<b>Depreciación</b>	<b>Depreciación acumulada</b>	<b>Valor en libros</b>
1	\$ 214.60	\$ 214.60	\$ 3,004.40
2	\$ 214.60	\$ 429.20	\$ 2,789.80
3	\$ 214.60	\$ 643.80	\$ 2,575.20
4	\$ 214.60	\$ 858.40	\$ 2,360.60
5	\$ 214.60	\$ 1,073.00	\$ 2,146.00
6	\$ 214.60	\$ 1,287.60	\$ 1,931.40
7	\$ 214.60	\$ 1,502.20	\$ 1,716.80
8	\$ 214.60	\$ 1,716.80	\$ 1,502.20
9	\$ 214.60	\$ 1,931.40	\$ 1,287.60
10	\$ 214.60	\$ 2,146.00	\$ 1,073.00
11	\$ 214.60	\$ 2,360.60	\$ 858.40
12	\$ 214.60	\$ 2,575.20	\$ 643.80
13	\$ 214.60	\$ 2,789.80	\$ 429.20
14	\$ 214.60	\$ 3,004.40	\$ 214.60
15	\$ 214.60	\$ 3,219.00	\$ 0.00

**Tabla 4.49 Datos de depreciación para quemadores.**

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Tabla de depreciación: Método de línea recta</b>			
<b>Equipo: Quemadores</b>			
<b>Valor</b>	<b>\$ 7,950.00</b>	<b>Vida útil</b>	<b>15</b>
<b>Valor de Salvamento</b>			<b>-</b>
<b>Depreciación anual</b>			<b>\$ 530.00</b>
<b>Año</b>	<b>Depreciación</b>	<b>Depreciación acumulada</b>	<b>Valor en libros</b>
1	\$ 530.00	\$ 530.00	\$ 7,420.00
2	\$ 530.00	\$ 1,060.00	\$ 6,890.00
3	\$ 530.00	\$ 1,590.00	\$ 6,360.00

Continua.

**Tabla 4.49 Datos de depreciación para quemadores (Continuación).**

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Tabla de depreciación: Método de línea recta</b>			
<b>Equipo: Quemadores</b>			
<b>Valor</b>	<b>\$ 7,950.00</b>	<b>Vida útil</b>	<b>15</b>
<b>Valor de Salvamento</b>			<b>-</b>
<b>Depreciación anual</b>			<b>\$ 530.00</b>
<b>Año</b>	<b>Depreciación</b>	<b>Depreciación acumulada</b>	<b>Valor en libros</b>
4	\$ 530.00	\$ 2,120.00	\$ 5,830.00
5	\$ 530.00	\$ 2,650.00	\$ 5,300.00
6	\$ 530.00	\$ 3,180.00	\$ 4,770.00
7	\$ 530.00	\$ 3,710.00	\$ 4,240.00
8	\$ 530.00	\$ 4,240.00	\$ 3,710.00
9	\$ 530.00	\$ 4,770.00	\$ 3,180.00
10	\$ 530.00	\$ 5,300.00	\$ 2,650.00
11	\$ 530.00	\$ 5,830.00	\$ 2,120.00
12	\$ 530.00	\$ 6,360.00	\$ 1,590.00
13	\$ 530.00	\$ 6,890.00	\$ 1,060.00
14	\$ 530.00	\$ 7,420.00	\$ 530.00
15	\$ 530.00	\$ 7,950.00	\$ -

#### **4.4.2. PROYECCIÓN CON FINANCIAMIENTO BANCARIO.**

A continuación, se presenta el flujo de caja para el proyecto con financiamiento bancario.

**Tabla 4.50 Flujo de caja del proyecto con financiamiento bancario.**

Fuente: Elaboración propia

Flujo de Caja del Proyecto con Financiamiento Bancario																
Concepto/año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ahorros		\$ 5,407. 85	\$ 5,543. 05	\$ 5,681. 62	\$ 5,823. 66	\$ 5,969. 25	\$ 6,118. 49	\$ 6,271. 45	\$ 6,428. 23	\$ 6,588. 94	\$ 6,753. 66	\$ 6,922. 51	\$ 7,095. 57	\$ 7,272. 96	\$ 7,454. 78	\$ 7,641. 15
Costos		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Flujo de caja operativo antes de impuestos y depreciación</b>		<b>\$ 5,407. 85</b>	<b>\$ 5,543. 05</b>	<b>\$ 5,681. 62</b>	<b>\$ 5,823. 66</b>	<b>\$ 5,969. 25</b>	<b>\$ 6,118. 49</b>	<b>\$ 6,271. 45</b>	<b>\$ 6,428. 23</b>	<b>\$ 6,588. 94</b>	<b>\$ 6,753. 66</b>	<b>\$ 6,922. 51</b>	<b>\$ 7,095. 57</b>	<b>\$ 7,272. 96</b>	<b>\$ 7,454. 78</b>	<b>\$ 7,641. 15</b>
Depreciación		\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,023. 50	\$ 1,023. 50	\$ 1,023. 50	\$ 1,023. 50	\$ 1,023. 50
Intereses		\$ 1,740. 17	\$ 1,680. 90	\$ 1,616. 30	\$ 1,545. 88	\$ 1,469. 13	\$ 1,385. 47	\$ 1,294. 27	\$ 1,194. 88	\$ 1,086. 53	\$ 968.4 3	\$ 839.7 1	\$ 699.4 0	\$ 546.4 6	\$ 379.7 6	\$ 198.0 6
<b>Utilidad Bruta</b>		<b>\$ 1,899. 58</b>	<b>\$ 2,094. 05</b>	<b>\$ 2,297. 22</b>	<b>\$ 2,509. 68</b>	<b>\$ 2,732. 03</b>	<b>\$ 2,964. 92</b>	<b>\$ 3,209. 07</b>	<b>\$ 3,465. 26</b>	<b>\$ 3,734. 31</b>	<b>\$ 4,017. 13</b>	<b>\$ 5,059. 29</b>	<b>\$ 5,372. 67</b>	<b>\$ 5,702. 99</b>	<b>\$ 6,051. 52</b>	<b>\$ 6,419. 59</b>
ISR (30%)		\$ 569.8 7	\$ 628.2 1	\$ 689.1 7	\$ 752.9 0	\$ 819.6 1	\$ 889.4 8	\$ 962.7 2	\$ 1,039. 58	\$ 1,120. 29	\$ 1,205. 14	\$ 1,517. 79	\$ 1,611. 80	\$ 1,710. 90	\$ 1,815. 46	\$ 1,925. 88
<b>Utilidad Neta</b>		<b>\$ 1,329. 71</b>	<b>\$ 1,465. 83</b>	<b>\$ 1,608. 06</b>	<b>\$ 1,756. 78</b>	<b>\$ 1,912. 42</b>	<b>\$ 2,075. 44</b>	<b>\$ 2,246. 35</b>	<b>\$ 2,425. 68</b>	<b>\$ 2,614. 02</b>	<b>\$ 2,811. 99</b>	<b>\$ 3,541. 51</b>	<b>\$ 3,760. 87</b>	<b>\$ 3,992. 09</b>	<b>\$ 4,236. 06</b>	<b>\$ 4,493. 71</b>
Amortización		\$ 658.5 4	\$ 717.8 0	\$ 782.4 1	\$ 852.8 2	\$ 929.5 8	\$ 1,013. 24	\$ 1,104. 43	\$ 1,203. 83	\$ 1,312. 17	\$ 1,430. 27	\$ 1,558. 99	\$ 1,558. 99	\$ 1,852. 24	\$ 2,018. 94	\$ 2,200. 65
Depreciación		\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,768. 10	\$ 1,023. 50	\$ 1,023. 50	\$ 1,023. 50	\$ 1,023. 50	\$ 1,023. 50
Valor de Rescate																

Continua.

**Tabla 4.50 Flujo de caja del proyecto con financiamiento bancario (Continuación).**

Fuente: Elaboración propia

Flujo de Caja del Proyecto con Financiamiento Bancario																
Flujo de Caja Neto		\$ 2,439. 27	\$ 2,516. 13	\$ 2,593. 75	\$ 2,672.0 6	\$ 2,750.9 4	\$ 2,830. 31	\$ 2,91 0.02	\$ 2,989 .95	\$ 3,069 .94	\$ 3,149 .82	\$ 3,006 .01	\$ 3,225. 37	\$ 3,163 .36	\$ 3,240 .62	\$ 3,316 .57
<b>Detalle de inversiones:</b>																
Sustitución de AA actuales por tecnología Inverter	\$ 2,047 .00															
Aislamiento de tuberías	\$ 1,296 .00															
Cambio de motores	\$ 643.8 0															
Cambio de quemadores a LPG	\$ 1,590 .00															
Cambio de luminarias	\$ 293.8 0															
<b>Flujo de Caja Neto Incremental</b>	<b>\$ (5,87 0.60)</b>	<b>\$ 2,439. 27</b>	<b>\$ 2,516. 13</b>	<b>\$ 2,593. 75</b>	<b>\$ 2,672.0 6</b>	<b>\$ 2,750.9 4</b>	<b>\$ 2,830. 31</b>	<b>\$ 2,91 0.02</b>	<b>\$ 2,989 .95</b>	<b>\$ 3,069 .94</b>	<b>\$ 3,149 .82</b>	<b>\$ 3,006 .01</b>	<b>\$ 3,225. 37</b>	<b>\$ 3,163 .36</b>	<b>\$ 3,240 .62</b>	<b>\$ 3,316 .57</b>
<b>Factor de descuento</b>		<b>0.914</b>	<b>0.835</b>	<b>0.763</b>	<b>0.698</b>	<b>0.638</b>	<b>0.583</b>	<b>0.53 3</b>	<b>0.487</b>	<b>0.445</b>	<b>0.407</b>	<b>0.372</b>	<b>0.340</b>	<b>0.310</b>	<b>0.284</b>	<b>0.259</b>
<b>Flujos descontados</b>		<b>\$ 2,229. 39</b>	<b>\$ 2,101. 77</b>	<b>\$ 1,980. 19</b>	<b>\$ 1,864.4 5</b>	<b>\$ 1,754.3 4</b>	<b>\$ 1,649. 65</b>	<b>\$ 1,55 0.17</b>	<b>\$ 1,455 .71</b>	<b>\$ 1,366 .05</b>	<b>\$ 1,281 .00</b>	<b>\$ 1,117 .33</b>	<b>\$ 1,095. 71</b>	<b>\$ 982.1 8</b>	<b>\$ 919.6 0</b>	<b>\$ 860.1 7</b>
<b>Flujo acumulado</b>		<b>\$ (3,641 .21)</b>	<b>\$ (1,539 .44)</b>	<b>\$ 440.7 6</b>	<b>\$ 2,305.2 1</b>	<b>\$ 4,059.5 4</b>	<b>\$ 5,709. 19</b>	<b>\$ 7,25 9.37</b>	<b>\$ 8,715 .08</b>	<b>\$ 10,08 1.13</b>	<b>\$ 11,36 2.13</b>	<b>\$ 12,47 9.45</b>	<b>\$ 13,57 5.17</b>	<b>\$ 14,55 7.34</b>	<b>\$ 15,47 6.94</b>	<b>\$ 16,33 7.11</b>

Las funciones VAN y TIR de Microsoft Excel, fueron utilizadas para el cálculo del valor actual neto, que es la acción de trasladar al presente el flujo de caja anual, y la tasa interna de retorno, la cual indica la rentabilidad del proyecto. Se obtiene una VAN y una TIR de \$16,337.11 y 44.22% respectivamente, para este caso si bien se tiene una TIR mayor a la TMAR, el proyecto se define como factible; pero teóricamente se sabe que entre mayor es la TIR, el proyecto es más viable económicamente. En el siguiente cuadro se reportan los parámetros económicos utilizados y obtenidos para el análisis económico sin financiamiento.

**Tabla 4.51 Indicadores financieros.**

*Fuente: Elaboración propia*

<b>TMAR (Tasa mínima de retorno de la inversión)</b>	9%
<b>Tasa de inflación</b>	1.9%
<b>Tasa de descuento</b>	9.41%
<b>VAN</b>	\$16,337.11
<b>TIR</b>	44.22%

Los beneficios totales por la implementación de las recomendaciones técnicas, así como la línea base para la empresa ejemplo se presentan en el cuadro siguiente.



**Tabla 4.52 Resumen de la línea base de la empresa ejemplo.**

*Fuente: Elaboración propia*

Unidad	Energía Eléctrica				Energía Térmica			
	tCO2e/MWh	KWh/año	\$USD/año	tCO2e/año	Texto	Galones/año	\$USD/año	tCO2e/año
	Factor de Emisión	Uso de electricidad	Costo de electricidad	GEI de electricidad (indirecta)	Tipo de hidrocarburo que produce la mayor cantidad de GEI	Uso del tipo de hidrocarburo que produce la mayor cantidad de GEI	Costo de todos los tipos de hidrocarburos consumidos	GEI de Gas/combustible (directa)-suma de todos los combustibles
<b>Línea Base</b>	<b>0.6906</b>	<b>115,885</b>	<b>0.13</b>	<b>80.03</b>	<b>Queroseno</b>	<b>3,130.5</b>	<b>7,700.9</b>	<b>29.19</b>

**Tabla 4.53 Resumen de beneficios al aplicar las recomendaciones técnicas.**

*Fuente: Elaboración propia*

Recomendaciones	Energía Eléctrica			Energía Térmica				
	Unidad	kWh/año	\$USD/año	tCO2e/año	Texto	galones/año	\$USD/año	tCO2e/año
		<b>Ahorro de electricidad</b>	<b>Ahorro de electricidad</b>	<b>Reducción de GEI proveniente del ahorro de electricidad (Indirecta)</b>	<b>Tipo de hidrocarburo</b>	<b>Ahorro de queroseno</b>	<b>Ahorro económico por diésel</b>	<b>Reducción de GEI proveniente del ahorro de hidrocarburo (Emisión indirecta)</b>
Cambio de luminarias actuales por tecnología LED		5,056.8	657.4	3.5				
Sustitución de AA actuales por tecnología Inverter		10,239.84	1,331.2	7.1				
Sustitución de motores actuales por motores alta eficiencia		1,829.7	987.9	1.6				
Cambio de quemadores base queroseno por gas natural o LPG					Queroseno	---	2,010.6	5.5
Aislamiento de tuberías de transporte de asfalto					Queroseno	168.3	419.93	1.55
<b>Total</b>		<b>17,126.34</b>	<b>2,976.5</b>	<b>12.2</b>		<b>168.3</b>	<b>2,430.53</b>	<b>7.05</b>

**Tabla 4.54 Resumen de recomendaciones técnicas.**

*Fuente: Elaboración propia*

Unidad	\$	año	año
	<b>Inversión necesaria</b>	<b>Vida útil de equipos</b>	<b>Periodo de recuperación</b>
Cambio de luminarias	1,469	10,000 horas	2.2
Sustitución de AA actuales por tecnología Inverter	10,235	10	7.7
Sustitución de motores por motores de alta eficiencia	3,219	15	3.3
Cambio de quemadores base queroseno por gas natural o LPG	7,950.00	15	3.9
Aislamiento de tuberías de transporte de asfalto	1,296.00	15	3.1
<b>Total</b>	<b>24,169.00</b>		<b>4.5</b>

#### **4.5. ETAPA V. IMPLEMENTACIÓN Y CONTINUIDAD.**

Las propuestas técnicas de mejora requieren un seguimiento a nivel de empresa para informar sobre los beneficios obtenidos y la eficacia de la implementación de la medida.

La siguiente tabla presenta el monitoreo continuo sugerido para la empresa ejemplo

**Tabla 4.55 Monitoreo y seguimiento de medidas sugerido.**

*Fuente: Elaboración propia*

<b>¿Qué vigilar?</b>	<b>¿Quiénes responsable de la vigilancia?</b>	<b>¿Cuándo monitorear?</b>	<b>¿Cómo controlar?</b>	<b>Informar a los empleados</b>	<b>Informes a la administración</b>
Consumo de combustible.	Encargado de abastecimiento de combustible.	Por cada lote de producción.	Medir directamente la cantidad de combustible utilizada para producir un lote de capacidad conocida.	Volúmenes de combustibles utilizados por cada lote.	Volumen ahorrado de combustible a raíz de la aplicación de la medida.
Capacidades instaladas de motores.	Ingeniero de planta.	Semestralmente.	Con ayuda de aparatos electrónicos controlar amperaje, voltaje, factores de carga, etc.	Levantar un inventario general y actual de motores.	Consumo eléctrico generado por los motores actuales en funcionamiento.
Consumo eléctrico.	Administración.	Mensualmente.	Creando indicadores que relacionen consumo eléctrico por cada lote producido al mes.	Acerca de pérdidas energéticas en el proceso.	Ahorros en el consumo eléctrico.
Buen uso de aires acondicionados.	Mantenimiento.	Mensualmente.	Limpieza y mantenimiento respectivo.	Buen uso de los aires acondicionados.	Ahorros energéticos obtenidos al aplicar la medida.

## **5. OBSERVACIONES.**

1. Al momento de realizar las respectivas visitas de campo a la empresa ejemplo, se determinó que en los procesos productivos estudiados existe un consumo significativo del recurso energético de forma ineficiente, ligado principalmente al uso de equipos y maquinarias con vidas útiles ya sobrepasadas.
2. A través de información proporcionada por la empresa ejemplo se logró determinar que el recurso energético eléctrico está siendo aprovechado de manera poco eficiente a causa del uso de luminarias y equipos de ambientación obsoletos, y a cuyo gasto se le suman equipos de alta demanda eléctrica requeridos para los laboratorios especializados con los que cuenta la empresa.
3. El recurso energético térmico en mayor medida está asociado al uso de queroseno como combustible, que es utilizado principalmente para el calentamiento de ciertas materias primas requeridas en los procesos estudiados y que además de generar las correspondientes emisiones que aumentan el cumulo de GEI, sus residuos son potencialmente nocivos a la salud de forma directa.
4. Durante las visitas realizadas a la empresa ejemplo se logró identificar aquellas actividades potencialmente nocivas para el medio ambiente, asociadas a los procesos productivos en estudio y que fungieron como la base para el desarrollo de la evaluación de impacto ambiental.
5. Uno de los factores a destacar acerca de las actividades en la planta productiva y que involucran al medio ambiente, es la ubicación geográfica de la misma ya que se observó que el plantel colinda con un cuerpo de agua superficial.

## 6. CONCLUSIONES.

1. Con base a la auditoria energética realizada por equipo investigador en la empresa ejemplo, se concluye que para los procesos productivos de emulsión asfáltica y mezcla asfáltica en frío existen considerables fuentes de pérdidas del recurso energético tanto térmico como eléctrico, asociadas al uso de equipos y maquinarias con vida útil sobrepasada y al mal aprovechamiento de la energía térmica generada en el proceso de producción.
2. Para el mejoramiento y uso eficiente del recurso energético térmico, de acuerdo con las diferentes evaluaciones de viabilidad se infiere que la sustitución de los actuales quemadores de queroseno por nuevos modelos que funcionan con GLP, son la solución más ventajosa desde el punto de vista económico y ambiental; Ya que su implementación además de reducir las emisiones a la atmósfera a través de un combustible menos contaminante, permiten alcanzar el requerimiento energético del proceso productivo en un menor tiempo generando un beneficio económico de US \$2010.6 y un beneficio ambiental de 5.5 Toneladas de CO<sub>2</sub>. Como complemento a esta medida se recomienda el aislamiento de tuberías de transporte de asfalto para evitar pérdidas de calor al ambiente lo que se traduce en 168.3 galones de queroseno ahorrados al año para calentar tuberías de transporte frías y facilitar la movilización del asfalto como producto terminado.
3. En cuanto al bajo aprovechamiento del recurso energético eléctrico, se deduce de acuerdo con el balance eléctrico que la principal fuente de consumo está asociada a los equipos de aires acondicionados, cuyas tecnologías obsoletas contribuyen a un consumo alto de energía eléctrica llegando a representar el 32% de la energía requerida por la empresa y

consecuentemente generando emisiones en forma de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

4. Con la aplicación de todas las medidas de eficiencia energética planteadas para el área térmica y eléctrica se genera un total de 17.7 Toneladas de CO<sub>2</sub> no emitidas a la atmósfera. En el sector eléctrico se reduce el uso de 17,126.34 kWh/año, que se traduce en US\$ 2976.5 y 12.2 Toneladas de CO<sub>2</sub>, y en su contraparte la parte térmica se reduce el consumo de 3,130 galones de queroseno, lo que equivale a un beneficio económico de US\$ 2,010.6 y 5.5 Toneladas de CO<sub>2</sub> no emitidas.
5. La inversión total para la aplicación de todas las medidas propuestas es de US\$ 24,169.0 para un período de recuperación de la inversión de 4.5 años. Los indicadores financieros del proyecto corresponden a una TIR de 44.22% y un VAN de US\$ 16,337.11 para 15 años, con un financiamiento del 80% y 20% de capital propio para el desarrollo del proyecto.
6. De acuerdo con el método MEL-ENEL, cualquier impacto genérico con una ponderación menor del 40% podrá eliminarse, ya que se considera no significativo y, por ende, no forma parte del proceso de decisiones sobre el proyecto. Para el caso de la presente investigación ningún impacto genérico es menor a 40%; es decir, ninguno se puede tomar como no significativo. En otras palabras, los cuatro impactos genéricos evaluados su coeficiente de CSR es mayor al 40% lo que significa que los cuatro deben ser tomados en cuenta en el plan de mitigación. Según la tabla CSR, el impacto genérico con mayor preponderancia es la atmósfera, seguido de la calidad del agua, luego el suelo y por último la salud y seguridad.

## **7. RECOMENDACIONES.**

1. Se recomienda como resultado del presente trabajo de investigación la implementación de las medidas técnicas recomendadas, dentro de un corto o mediano plazo ya que estas promueven un uso eficiente del recurso energético posibilitando así ahorros económicos y reducción de impactos ambientales para la empresa ejemplo.
2. De acuerdo con lo observado durante las diferentes visitas a la planta y los procesos productivos estudiados, se recomienda a la empresa ejemplo el uso constante de equipos reductores del consumo energéticos como los es un intercambiador instalado en la planta, que permite el precalentamiento del agua de proceso; de esta manera se logrará un ahorro en combustible que se percibirá como beneficio económico y ambiental.
3. Se recomienda mantener una iniciativa constante en el concepto de mejora continua, esto con el fin de mantener un monitoreo invariable no solo de las medidas implementadas sino además de la cultura de ahorro energético por parte de los miembros de la planta y lograr así beneficios ambientales.
4. Es recomendable de acuerdo con los resultados de la evaluación de impacto ambiental, que se dé un adecuado manejo de los residuos generados en los procesos productivos, ya que además de la atmosfera, el recurso hídrico sean cuerpos de aguas superficiales o subterráneos y el suelo se encuentran altamente vulnerables.
5. Se insta a la realización de investigaciones complementarias orientadas siempre a la eficiencia energética y la evaluación de impacto ambiental, pero abordando otras líneas productivas no estudiadas.



## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

### 8.1. DOCUMENTOS CONSULTADOS.

- Acuerdo No. 28 Se emite la Política de Producción más Limpia. (09 de junio de 2004). Diario Oficial de la República de El Salvador, p.12.
- Asolekar, S. R. (1999). Cleaner production: A new horizon. Chemical Business, 13(9), 111.
- Avilés Chávez, S. B., López Pineda, N. V., Soto Rodríguez, J. G. (2012). Desarrollo de Propuestas Técnicas de Producción Más Limpia, enfocadas en los requerimientos energéticos del Hospital Nacional de Maternidad. San Salvador.
- Bolaños Ortiz, L. A. Evaluación del impacto ambiental en los proyectos de ingeniería. Tesis ing. civil Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1998 199pp.
- Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. (2017) Guía técnica de producción más limpia para curtiembres. La Paz, Bolivia.
- Decreto No. 233. (1998) Ley de Medio Ambiente. Diario Oficial de la República de El Salvador Tomo No. 339.
- Escalante D., Garay R. y Herrera E. (2014). Desarrollo de un modelo de deterioro y mantenimiento del tramo 7-B: Lilisque-Anamorós de la carretera Longitudinal del Norte, utilizando el software HDM-4. (trabajo de grado). Universidad de El Salvador. El Salvador.
- Fundación Centro Nacional de Producción Más Limpia. (Julio de 2013) Proyecto de Inversión de Reconversión Ambiental "Asfaltos de Centroamérica, S.A. de C.V.", El Salvador.
- Gómez, D. Cómo identificar y registrar los impactos ambientales. Guía para capacitadores y líderes comunitarios de la región amazónica ecuatoriana. Quito Ecuador. ABYAYALA 1998 105PP.
- Guevara M., Méndez H. y Pimentel J. (2010). Diseño de mezclas asfálticas densas en frío basado en el método Marshall modificado de la universidad de Illinois. (Trabajo de grado). Universidad de El Salvador. El Salvador.
- Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social -ILPES- y otros. Guías para la evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo local. s.l. s.e. 2000 296pp

- ITT Corporation. (09 de 2015). Guía de selección de bombas. Nueva York, U.S.A.
- Limpia, C. N. (2013). Proyecto de Inversión de Reconversión Ambiental "Asfaltos de Centroamérica, S.A. de C.V.". San Salvador.
- López, M. E. Evaluación de impacto ambiental: Metodología y alcances – El método MEL-ENEL. San José, C. R.: ICAP, 2001. 163pp.
- Ministerio de Economía de El Salvador. (2017). Precio de paridad de importación y precio de venta de cilindros de GLP. San Salvador.
- Muñoz García, P. C., Urrutia Vásquez, C. L. J., Vaquero Andrade, N. M. (2005). Aplicación de tecnologías de producción más limpia para la pequeña y mediana industria de curtiembre en El Salvador. San Salvador.
- ONUDI. (s.f.). Manual de Producción Más Limpia.
- R. W. BECKETT CORPORATION (. (06 de 2017). CG10-24 Gas Burner Manual. U.S.A.
- R. W. BECKETT CORPORATION. (06 de 2015). SF/SM Oil Burner Manual. U.S.A.
- Ramos, A. R., (2004), METODOLOGÍAS MATRICIALES DE EVALUACIÓN AMBIENTAL PARA PAISES EN DESARROLLO: MATRIZ DE LEOPOLD Y MÉTODO MEL-ENEL. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Rodríguez Talavera, R., Castaño Meneses, V., y Martínez Madrid, M. (2001). Emulsiones Asfálticas. Sanfandilo Querétaro: Secretaría de comunicaciones y transporte.
- Gamero de Ayala, S. E. (2016), Material de apoyo cátedra "Evaluación del Impacto Ambiental", Universidad de El Salvador, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.
- Universidad Sergio Arboleda. ((s.f.)). Especialización en gerencia de producción y operaciones. Bogotá, Colombia.
- Vaquero Andrade, N. M. (2016), Material de apoyo cátedra "Producción Más Limpia y Eficiencia Energética", Universidad de El Salvador, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.

## 8.2. SITIOS WEB CONSULTADOS.

- Asfalca (s.f.) Historia y productos. (7 de abril de 2017) Recuperado de <http://asfalca.com> (
- ASFALCA S.A. de C.V. (2015). Laboratorio: suelos, agregados, asfaltos, mezclas asfálticas, emulsiones asfálticas, slurry y micropavimento, diseños. 11 de abril de 2017, de ASFALCA S.A. de C.V. Sitio web: <http://asfalca.com/laboratotio/>
- Banco Central de Reserva de El Salvador. (2015). Informe de Comercio Exterior de El Salvador enero-noviembre 2015. Recuperado de <http://www.bcr.gob.sv/bcrsite/uploaded/content/category/618579526.pdf>
- Cámara salvadoreña de La Industria de La Construcción. (2016). Precios promedios de elementos representativos puestos en el área metropolitana de san salvador año 2016. Recuperado de <http://www.casalco.org.sv/archivos/RESUMEN%20PUBLICACION%20PRECIOS%20PROMEDIO%202016.pdf>
- Chavez, Z. ((s.f.)). blogspot.com. (21 de abril de 2017) Obtenido de <http://ingenieriacom1zapatachavez.blogspot.com/2015/01/crear-cuenta-de-blogger.html>
- Consejo Nacional de Energía. (s.f.). Política Energética Nacional. Recuperado de [http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com\\_content&view=category&id=124:main&layout=default](http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com_content&view=category&id=124:main&layout=default)
- CONSTRUMÁTICA. (11 de abril de 2017). Tipos de asfalto. Obtenido de Tipos de asfalto: [http://www.construmatica.com/construpedia/Tipos\\_de\\_Asfalto](http://www.construmatica.com/construpedia/Tipos_de_Asfalto).
- laprensagrafica.com. (2010). Albapetróleos El Salvador importará asfalto venezolano. CentralAmericaData.com. Recuperado de [http://www.centralamericadata.com/es/article/home/Alba\\_Petroleos\\_El\\_Salvador\\_importara\\_asfalto\\_venezolano](http://www.centralamericadata.com/es/article/home/Alba_Petroleos_El_Salvador_importara_asfalto_venezolano)
- Linares. V. (2016). Industria del asfalto mueve cerca de \$160 millones anuales. El Diario de Hoy. Recuperado de <http://www.elsalvador.com/noticias/negocios/208719/industria-del-asfalto-mueve-cerca-de-160-millones-anuales/>.
- Ministerio de Economía. (1998). Política de fomento a la producción limpia. Recuperado de <http://www.cpl.cl/archivos/documentos/94.pdf>

- Ministerio de Economía. Dirección de Hidrocarburos y Minas. (2016). Consumo local anual de productos derivados del petróleo reportados por compañía 2016 (Datos provisionales). Recuperado de <https://www.edrhym.gob.sv/drhym/estadisticas.aspx?uid=6>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010). Producción más Limpia. Recuperado de <http://www.marn.gob.sv/produccion-mas-limpia/>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). Evaluación del Impacto Ambiental (EIA). Recuperado de <http://www.marn.gob.sv/evaluacion-del-impacto-ambiental-2/>
- Ministerio de Obras Públicas. (2009). Historia. Recuperado de [http://www.mop.gob.sv/index.php?option=com\\_content&view=article&id=49&Itemid=54](http://www.mop.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=54)
- Ministerio de Obras Públicas. (2016). Rendición de cuentas 2015-2016: El Salvador a otro nivel. Recuperado de [http://www.mop.gob.sv/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2400](http://www.mop.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=2400)
- National Asphalt Pavement Association. (s.f.) History of Asphalt. (25 de abril de 2017) Recuperado de [http://www.asphaltpavement.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=21&Itemid=41](http://www.asphaltpavement.org/index.php?option=com_content&task=view&id=21&Itemid=41)
- Portillo. M. (2013). El Salvador ya no importa crudo, solo combustible refinado. La Prensa Gráfica. Recuperado de <http://www.laprensagrafica.com/el-salvador-ya-no-importa-crudo--solo-combustible-refinado>
- QUÍMICA LATINOAMÉRICA. (11 de abril de 2017). Emulsiones asfálticas. Obtenido de Química Latinoamérica: <http://www.quimicalatinoamericana.cl/index.php/emulsiones-asfalticas>.
- Repsol. ((s.f.)). Repsol.com. (30 de marzo de 2017) Obtenido de [https://www.repsol.com/pe\\_es/peru/productos-servicios/asfaltos/fisico-quimica/composicion/](https://www.repsol.com/pe_es/peru/productos-servicios/asfaltos/fisico-quimica/composicion/)

## **ANEXOS 1. GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS.**

En esta sección se presentan las definiciones de términos utilizados en la presente investigación, así como las abreviaturas de mayor uso en el documento.

### Glosario.

**Acción:** Una acción es cualquier política, programa, plan o proyecto que pudiese afectar el medio ambiente.

**Área de influencia:** Es el área donde se presentarán y/o tendrán influencia los impactos adversos o benéficos de un proyecto. Un mismo proyecto puede tener diferentes áreas de influencia, dependiendo de los factores ambientales que sean afectados.

**Auditoría ambiental:** Es una evaluación preliminar de un sitio o propiedad para identificar y evaluar la magnitud de cualesquiera peligros ambientales existentes y sus riesgos asociados.

**Calidad ambiental:** Conjunto de características del medio ambiente relativas a la disponibilidad y fácil acceso de los recursos naturales y a la ausencia o presencia de agentes nocivos de cualquier tipo, elementos que son necesarios para el mantenimiento, crecimiento y diferenciación de los seres vivos.

**Calor específico:** es una magnitud física que se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia o sistema termodinámico para elevar su temperatura en una unidad.

**Compresor:** es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tales como gases y vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y

el fluido, en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.

**Densidad:** Es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia.

**Desarrollo sostenible:** Proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, fundado en medidas apropiadas de conservación y protección del medio ambiente, de manera que no se sobrepase la capacidad del ambiente para recuperarse y absorber los desechos producidos, manteniendo o incrementando así el crecimiento económico.

**Eficiencia:** la eficiencia de un proceso o de un dispositivo es la relación entre la energía útil y la energía invertida.

**Energía térmica:** Es la parte de la energía interna de un sistema termodinámico en equilibrio que es proporcional a su temperatura absoluta y se incrementa o disminuye por transferencia de energía, generalmente en forma de calor o trabajo, en procesos termodinámicos.

**Evaluación ambiental:** Es el proceso que consiste en obtener el conocimiento más acabado posible, acerca del estado y tendencias del medio ambiente, se encuentre éste intacto o sometido a variados niveles de degradación o de mejoras.

**Factor de carga:** es el cociente entre la energía real generada durante un período (generalmente anual) y la energía generada si se hubiera trabajado a plena carga durante ese mismo período, conforme a los valores nominales de las placas de identificación de los equipos. Es una indicación de la utilización de la capacidad de la planta en el tiempo.

**Factor de potencia:** relación entre la potencia activa, P, y la potencia aparente, S. Da una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa.

**Hora Punta:** período en el que generalmente se producen picos de energía. (18:00 p.m.-23:00 p.m.).

**Hora Valle:** periodo diario de menor consumo energético en un sistema eléctrico. En el sistema general de distribución eléctrica coincide con las horas de madrugada ya que se reduce la actividad que demanda energía eléctrica. (23:00 p.m.-5:00 a.m.).

**Hora Resto:** período que comprende el consumo energético a lo largo del día incluyendo las horas laborales (5:00 a.m.-18:00 p.m.).

**Impacto ambiental:** Se da un impacto ambiental cuando una acción o actividad produce una alteración en el medio o en algunos de los componentes del medio.

**LED:** es una fuente de luz constituida por un material semiconductor dotado de dos terminales. Se trata de un diodo de unión p-n, que emite luz cuando está activado.

**Mitigación:** La mitigación es la implementación deliberada de decisiones o actividades diseñadas para reducir los impactos indeseables de una acción propuesta sobre el medio ambiente afectado. La mitigación es un concepto general que puede incluir: evitar impactos completamente al no tomar ninguna acción en particular, reducir impactos al limitar la magnitud de la acción, rectificar impactos al reparar o restaurar características particulares del ambiente afectado, reducir impactos con el tiempo al realizar actividades de mantenimiento durante la extensión de la acción y compensar por impactos al añadir o sustituir al ambiente que afecta la acción.

**Poder calorífico:** Es el calor desprendido cuando los productos de la combustión completa de un combustible se enfrían hasta la temperatura inicial del aire y del combustible.

**Potencia:** es la propiedad que tienen los cuerpos para mantener una carga eléctrica. La capacidad es también una medida de la cantidad de energía eléctrica almacenada para una diferencia de potencial eléctrico dada

Abreviaturas.

**CSR:** Coeficiente de significancia relativa.

**EER:** Energy Efficiency Ratio.

**GEI:** Gases de efecto invernadero.

**GLP:** Gas licuado de petróleo.

**I&D:** Investigación y desarrollo.

**MARN:** Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

**PGA:** Programa de gestión ambiental.

**PML:** Producción más limpia.

**PSRI:** Período simple de recuperación de la inversión.

**TIR:** Tasa interna de retorno.

**VPN:** Valor presente neto.



ANEXOS 2. CONTENIDO DEL MANUAL DE QUEMADOR PARA QUEROSENO.

# SF/SM

## Oil Burner Manual



Beckett

RESIDENTIAL BURNERS



**WARNING**

**Potential for Fire, Smoke and Asphyxiation Hazards**

***Incorrect installation, adjustment, or misuse of this burner could result in death, severe personal injury, or substantial property damage.***

**To the Homeowner or Equipment Owner:**

- Please read and carefully follow all instructions provided in this manual regarding your responsibilities in caring for your heating equipment.
- Contact a professional, qualified service agency for installation, start-up or service work.
- Save this manual for future reference.

**To the Professional, Qualified Installer or Service Agency:**

- Please read and carefully follow all instructions provided in this manual before installing, starting, or servicing this burner or heating system.
- The Installation must be made in accordance with all state and local codes having jurisdiction.

**To the Owner:**

**Thank you for purchasing a Beckett burner** for use with your heating appliance. Please pay attention to the Safety Warnings contained within this instruction manual. Keep this manual for your records and provide it to your qualified service agency for use in professionally setting up and maintaining your oil burner.

Your Beckett burner will provide years of efficient operation if it is professionally installed and maintained by a qualified service technician. If at any time the burner does not appear to be operating properly, **immediately contact your qualified service agency** for consultation.

**We recommend annual inspection/ service of your oil heating system by a qualified service agency.**

**Daily** – Check the room in which your burner/appliance is installed. Make sure:

- Air ventilation openings are clean and unobstructed
- Nothing is blocking burner inlet air openings
- No combustible materials are stored near the heating appliance
- There are no signs of oil or water leaking around the burner or appliance

**Weekly**

- Check your oil tank level. Always keep your oil tank full, especially during the summer, in order to prevent condensation of moisture on the inside surface of the tank.

# Contents

**General Information** ..... 3  
Hazard Definitions: .....3

**▼ Remainder of manual to be used ONLY BY ▼  
QUALIFIED SERVICE TECHNICIANS**

**Inspect/Prepare Installation Site** ..... 5  
Inspect Chimney or Direct Vent System .....6  
Combustion Air Supply.....6  
Clearances to Burner and Appliance .....7  
Combustion Chamber — Burner Retrofitting .....7

**Prepare the Burner** ..... 7  
Burner Fuel Unit .....7  
Attach Air Tube (if not already installed) .....7  
Install Burner Nozzle (if not already installed) .....7  
Check/Adjust Electrodes .....8  
Servicing Nozzle Line Assembly .....8

**Mount Burner on Appliance** ..... 8  
Mounting Options.....8  
Mounting Dimensions .....8  
Installing the Oil Tank and Supply System ..... 10  
Connect Fuel Lines ..... 10

**Wire Burner** ..... 11  
Burner Packaged with Appliance ..... 11  
Burner Installed at Jobsite ..... 11

**Burner Controls** ..... 12  
GeniSys 7505 & 7575 ..... 12  
Features..... 12  
Wiring ..... 12  
Reset Button Operation..... 15  
Wire Burner ..... 16

**Start Up Burner/Set Combustion**..... 16  
Cad Cell Resistance Measurement ..... 16  
Resetting From Restricted or Hard Lockout ..... 16  
Startup / Checkout ..... 17  
Check Safety Features..... 17  
Set combustion with instruments..... 17

**Perform Regular Maintenance** ..... 18  
Shutting the Burner Off ..... 18  
Replacing the blower wheel: ..... 18

**Replacement Parts** ..... 19

**Limited Warranty Information** ..... 2

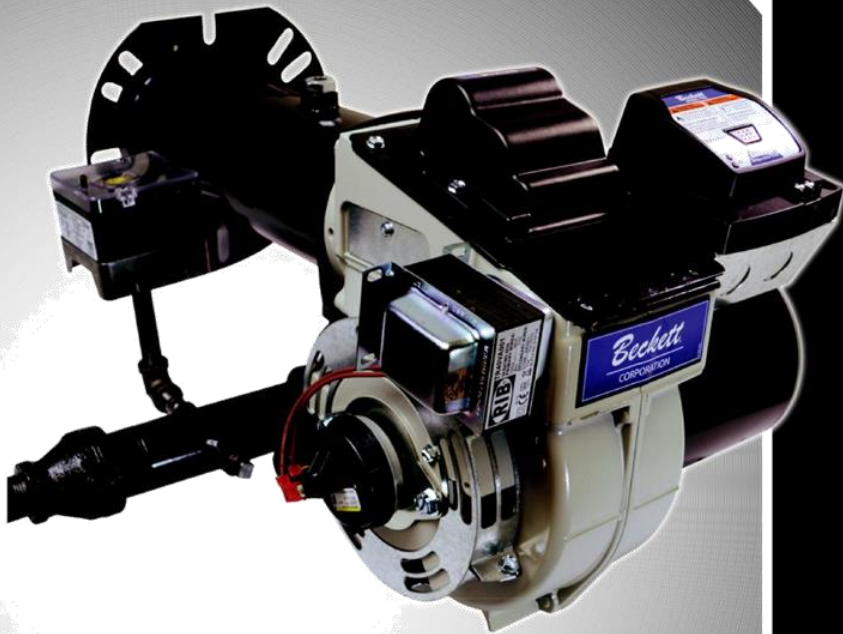
## ANEXOS 3. CONTENIDO DEL MANUAL DE QUEMADOR PARA GLP.

# CG10-24

with GeniSys 7590 Control

## Gas Burner Manual

Operation On/Off & On/Off Low Fire Start  
Available Rates: 300 - 1200 MBH



*Beckett.*

CORPORATION



### **WARNING**

#### **Fire or Explosion Hazard**

*Can cause severe injury, death or property damage*

*If the information in these instructions is not followed exactly, a fire or explosion may result causing personal injury, death or property damage.*

— Do not store or use gasoline or other flammable vapors and liquids in the vicinity of this or any other appliance.

#### — WHAT TO DO IF YOU SMELL GAS

- Do not try to light any appliance
- Do not touch any electrical switch; do not use any phone in your building.
- Immediately call your gas supplier from a neighbor's phone. Follow the gas supplier's instructions.
- If you cannot reach your gas supplier, call the fire department.

- Installation and service must be performed by a qualified installer, service agency or the gas supplier.

## • Before Calling Beckett . . .

Before contacting us about your burner, you must have a completely filled out copy of the **Contractor Start-Up Form** (Located inside of last page). This information is crucial for troubleshooting and obtaining the correct replacement part.

## Table of Contents

General Information.....	3	Propane Conversion.....	17
To the Owner: .....	3	Propane Restrictor Installation .....	17
Owner's Responsibility: .....	3	Wire the Burner .....	19
Professional Installer's Responsibility: .....	4	Sequence of Operation .....	23
Specifications .....	4	Burner Start-up.....	24
Burner Configurations .....	6	Test Instruments.....	24
Inspect/Prepare .....		Burner Start Procedure .....	24
Installation Site.....	9	Verify the Burner Firing Rate .....	27
Indoor Installation. ....	9	Estimating Rate.....	27
Inspect Chimney and Vent System. ....	9	Validate Safety Control Operation.....	28
Combustion Air Supply. ....	11	Combustion Air Adjustment Procedure .....	28
Buildings with Adequate Air Infiltration.....	11	Maintenance and Service .....	29
Buildings with Less Than Adequate Air Infiltration .....	11	Required Annual Maintenance .....	30
Clearances to Burner and Appliance .....	11	Replacement Parts.....	33
Fuel Gas Supply.....	11	Limited Warranty Information.....	36
Prepare the Appliance.....	14		
Mount the Burner.....	14		
Connect Gas Train Piping.....	15		