



UNIVERSIDAD DE MATANZAS "CAMILO CIENFUEGOS"
FACULTAD DE INGENIERIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

TÍTULO: Estrategia para uso racional del agua y su energía asociada, desde la perspectiva de la economía ecológica, para el proceso de refinación de petróleo.

Trabajo final en opción al Título Académico de Especialista en Tecnologías de refinación de petróleo

Autor: MSc. Gabriel Orlando Lobelles Sardiñas

Tutor: Dr. Eduardo López Bastida

REFINERÍA DE PETRÓLEO "CAMILO CIENFUEGOS"

MATANZAS, 2012

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Gabriel Orlando Lobelles Sardiñas, declaro que soy el único autor del presente trabajo como requisito parcial para optar por el Título Académico de Especialista en Tecnologías de refinación de petróleo y autorizo a la Universidad de Matanzas y al Centro Politécnico del Petróleo a hacer el uso que estime pertinente con la información que aparece en el mismo siempre y cuando se respete nuestra autoría.

Nombre y Apellidos. Firma

DEDICATORIA

A mis padres por su entrega y educación.

A mi esposa por su apoyo incondicional.

A mis dos hijas por su incondicionalidad y por ser mi orgullo,

A TODOS, LOS AMO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia,

A mi esposa, por su gran apoyo,

A mis hijas, por su comprensión y su incondicionalidad,

A todos los que han hecho posible este trabajo.

Al ALBA,

a la Revolución por darme esta otra oportunidad.

RESUMEN

Las organizaciones son tan eficaces y eficientes como lo son sus procesos. En tal sentido es importante sentar las bases para la simplificación y optimización de aquellos procesos que mediante la mejora de su operación, contribuyan al logro de los objetivos de la organización.

En la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos”, en las actuales condiciones de producción, existe un elevado consumo de agua, que además influye en los altos costos de producción, en los costos de portadores energéticos y en el impacto medioambiental. Sin embargo, no se logran los índices de consumo de agua establecidos para este tipo de producción.

Es objetivo de este trabajo **proponer una estrategia de trabajo**, para lograr un uso racional del agua en el proceso de refinación de petróleo, con una reducción de los costos energéticos asociados y una reducción del impacto medioambiental.

El trabajo comprende un primer capítulo, donde se analiza la bibliografía existente en el mundo, que refiera métodos y metodologías para minimizar los consumos de agua. Un segundo capítulo donde se diseña una metodología de diagnóstico para el proceso de consumo de agua y además permite determinar los costos medioambientales. En el tercer capítulo se presenta el diagnóstico realizado, donde se identifican los principales problemas, se seleccionan por la votación ponderada y sobre ellos se propone una estrategia de trabajo que contribuye al ahorro de agua. Se calculan los costos medioambientales. Finalmente se presenta una propuesta de mejora que responde a los objetivos trazados.

Por último las conclusiones que validan la hipótesis del trabajo y las recomendaciones que conducen a la generalización de los resultados alcanzados.

ABSTRACT

Organizations are as efficient and effective as their processes. In that sense is important to lay the foundations for the simplification and optimization of those processes that by means that of their operations improvement, contribute to the achievement of the objectives of the organization.

In the “Camilo Cienfuegos” Oil Refinery, in the present condition of production, there is high water consumption with an influence in the high production costs, in the energy sources and in the environmental impact. However, the established water consumption levels for this type of production are not reached.

The purpose of this research is **to put forward a working strategy**, to reach a rational use of the water in the refining of the oil, with a reduction in the associated energetic costs and a reduction in the environmental impact.

The research has a first chapter devoted to the analysis of the existing bibliography around the world; it also refers to the methods and methodologies used to minimize the water consumption.

A second chapter that deals with the design of the diagnostic methodology for the process of water consumption and it also allows determining de environmental costs. In the third chapter the performed diagnostic is presented, where the main problems are identified, they are selected by means of the weighted voting and according to them a working strategy is proposed so as to save water. The environmental costs are calculated. Finally a proposal for is presented for the improvement and gives answer to the objectives already set.

At the end the conclusions that validate the hypothesis of the research and the recommendations that reach the generalization of the results obtained.

TABLA DE CONTENIDOS.

DEDICATORIA.

AGRADECIMIENTOS.

RESUMEN.

TABLA DE CONTENIDOS.

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.....	5
1.1 La molécula de agua. Las propiedades del agua.....	5
1.2 Problemática del agua en el mundo y en Cuba.....	7
1.3 Principales industrias consumidoras de agua en Cuba	10
1.4 Métodos para gestionar un uso racional del agua en los procesos productivos y en los servicios.....	12
1.4.1 Método estadístico.....	13
1.4.2 Herramientas generales.....	14
1.4.3 Tecnología de pliegue (tecnología Pinch y Water Pinch) y Tabla cascada de agua (WCT).....	15
1.4.4 Inteligencia artificial para minimizar consumos de agua.....	22
1.4.5 Huella ecológica y Huella Hídrica.....	24
1.5 La Economía Ecológica.....	25
1.6 Metodologías para la Contabilidad de la Gestión Medioambiental.....	26
1.6.1 Costos medioambientales.....	27
1.6.2 Enfoque de ciclo de vida de un producto como herramienta para gestionar los costos medioambientales.....	30
Conclusiones parciales del análisis bibliográfico.....	34

CAPÍTULO II – DISEÑO METODOLÓGICO.....	35
2.1 Caracterización del proceso tecnológico de la planta combinada, en la refinería objeto de estudio.....	35
2.1.1 Sección 100. Desalación eléctrica.....	37
2.1.2 Sección 100. Destilación atmosférica.....	37
2.1.3 Sección 200. Reformación Catalítica.....	40
2.1.4 Sección 300 (Hidrofinación de diesel). En proceso de arrancada.....	40
2.1.5 Sección 400 (Fraccionamiento de gases).....	40
2.1.6 Sección 600 (Caldera recuperadora).....	41
2.1.7 Planta MEROX.	41
2.1.8 Sección de procesos auxiliares.....	41
2.1.9 Sección de PTR (planta de tratamiento de residuales).....	42
2.2 Diseño de metodología de diagnóstico y determinación de cost medioambientales del sistema del agua.....	42
2.2.1 Metodología de diagnóstico.....	43
2.2.1.1 Etapa I: Identificación.....	44
2.2.1.2 Etapa II: Procesamiento y análisis de la informaci Presentación del informe del diagnóstico.....	47
2.2.1.3 Etapa III: Presentación de la propuesta de mejora y toma de decisiones.....	53
2.3 Presentación de la propuesta de mejora que contribuya al logro de la racionalida en el consumo de agua.....	54
2.3.1 Presentación de la propuesta de mejora.....	54
CAPÍTULO III- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
3.1 Diagnóstico del proceso de consumo de agua.....	56

3.1.1	Primera etapa. Identificación.....	57
3.1.2	Segunda etapa: Análisis de la información.....	59
3.1.2.1	Evaluación de indicadores de desempeño medioambiental o de ecoeficiencia.....	70
3.1.2.2	Ciclo de vida del producto.....	73
3.1.3	Tercera etapa: Presentación de la propuesta de mejora.....	82
3.1.3.1	Evaluación termoeconómica de la propuesta de mejora, como estrategia para el uso racional del agua.....	82
	CONCLUSIONES PARCIALES DEL CAPÍTULO III.....	88
	CONCLUSIONES GENERALES.....	89
	RECOMENDACIONES.....	90
	BIBLIOGRAFÍA.	
	ANEXOS.	

INTRODUCCIÓN

Los nuevos conceptos sobre el desarrollo sostenible y sustentable (Brundtland, 1987) establecen relaciones fundamentales entre la energía, el agua y el medio ambiente en un contexto de equidad y justicia social, lo que ha generado nuevos paradigmas en el manejo y aprovechamiento eficiente de los recursos naturales y energéticos, con el objetivo de alcanzar un ritmo sostenido y equitativo del crecimiento económico.

Según especialistas de la (CEPAL org, 2003), para alcanzar la sostenibilidad ambiental, resulta un gran reto promover la participación, la educación y la sensibilización en los temas ambientales y uno de los más urgentes que se debe tratar es el del agua.

El agua en la tierra está cuantificada en aproximadamente 1400 millones de km³, pero de ellos, el 97 % es agua salada y solamente 10 millones de km³ son de agua dulce, disponibles entre subterránea y superficial (bvsde.ops-oms.org, 2007). La cantidad de agua en el planeta tierra es finita. El número de habitantes está creciendo rápidamente y la utilización del agua crece aún en mayor medida.

Según el diario (elpais, 2006) de Uruguay, aunque en Latinoamérica muchas veces no se perciba, y se haga un uso desmedido del suministro, la situación del agua es crítica en el mundo. Un 40 % de la población mundial no tiene satisfechas las necesidades de abastecimiento. Para el año 2050, según estimaciones de la Unesco, se llegará al 50 %.

El consumo de agua en el mundo entre los años 1900 y 1995 aumentó seis veces más del doble de la tasa de crecimiento de la población y continúa aumentando a medida que incrementa tanto la demanda doméstica como industrial.

Un informe de Naciones Unidas (UNESCO.org, 2008) destaca que la calidad del agua está disminuyendo en muchas regiones del mundo. Las cifras muestran que se está deteriorando rápidamente la diversidad de los ecosistemas y las especies vegetales y animales de agua dulce, con frecuencia, a un ritmo más acelerado que en el caso de los ecosistemas terrestres y marinos. El informe resalta que, para funcionar como es debido, el ciclo hidrológico del que depende la vida en la tierra necesita un medio ambiente saludable.

Por otra parte, la *World Wide Fund for Nature* (WWF), (Planeta Vivo, 2012) midió mensualmente la escasez de agua en más de 400 sistemas fluviales, y concluyó que cerca de 2700 millones de personas sufren falta de agua al menos un mes cada año.

El 90 % de los desastres naturales son fenómenos que guardan relación con el agua, y su número y frecuencia van en aumento. Ellos son consecuencia de una explotación

inadecuada del suelo. Los problemas relacionados con el agua han sido reconocidos como las amenazas más serias e inmediatas a la humanidad. El artículo “Fundación Terra” (terra.org, 2006), muestra el consumo mundial de agua por sectores. El sector agrícola es el mayor consumidor con 65 %, no sólo porque la superficie irrigada en el mundo ha tenido que quintuplicarse para satisfacer necesidades cada vez mayores, sino porque no se cuenta con un sistema de riego eficiente, razón principal que provoca que las pérdidas sean inmensas. Le sigue el sector industrial con el 25 % mientras el consumo doméstico, comercial y de otros servicios urbanos asume el 10 % restante. De este artículo, se deduce cuán importante es prestar especial atención a los consumos industriales, no solo por el considerable consumo sino por el agravante de la contaminación. Ya no solo se aboga por el uso racional del recurso agua, sino por el impacto medioambiental que su uso desmedido ocasiona.

Es conocido que el 25 % del agua es consumida en diferentes procesos industriales, que no sólo tienen un impacto marcado en el consumo de agua fresca sino que además contaminan severamente las diferentes fuentes de abasto con los vertimientos de sus residuales.

Industrias como las del cemento, petróleo, azúcar, alimentos y bebidas, textiles, papeleras, etc. son de las más consumidoras de agua. Dentro de la industria del petróleo, están comprendidas las refinerías, con un consumo considerable de dicho recurso. Entre ellas, se incluye la fábrica objeto de estudio.

En la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos” del consejo popular Carolina, en el municipio de Cienfuegos, el índice de consumo de agua fresca referido a la producción, según estudios realizados en Cuba (Vidal, 2005) se comporta superior a lo establecido en las normas internacionales e incluso a las normas ramales de Cuba. Por otra parte, este alto consumo de agua trae consigo una afectación en los costos de los portadores energéticos.

Una vez consultada la documentación archivada por la dirección de economía de dicha empresa, se ha podido constatar el comportamiento del consumo de agua fresca durante el período comprendido entre los años 1993 y 2011. **Ver Anexo 1.** Al analizarlo, se aprecia que entre los años 1993-1995 hay un consumo muy grande de agua y en ese período, la refinería se encontraba en plena refinación. Aun cuando los índices de consumo estaban deteriorados, había relación con la producción. Sin embargo, al finalizar el año 1995, esta fábrica fue paralizada como consecuencia del período

especial, al observar la tabla se aprecian elevados consumos entre los años 1996 y 2000, particularmente el año 1998, donde se registró un incremento desproporcionado, lo cual indica que existen consumos no relacionados con la producción, lo que conduce a un incremento en los costos de la empresa.

Posteriormente, con la reactivación de la refinería, a partir del año 2008, nuevamente comienza la producción y por consiguiente, los consumos se incrementaron, en alguna medida justificadamente, pero lo cierto no se evidencian consumos lógicos para estos niveles de producción. Obviamente, los índices de consumo de agua respecto a la producción no son los más representativos, ni siquiera los más lógicos por cuanto solapan un exceso en el consumo de ese recurso que no guarda relación con la producción. Además al ser comparados con lo referido en la literatura (Gary H.J. and Handwerk G.E, 2006), estos distan mucho de ser aceptables.

No obstante, al realizar un pesquisa en las direcciones de operaciones y calidad, se encontraron algunos indicadores de calidad para el control del proceso, pero ellos apenas permiten realizar un análisis de la producción y los resultados se discuten con los trabajadores, incluso se controlan para su la estimulación. Sin embargo, no hay evidencias de que se hayan aplicado técnicas, ni metodologías que contribuyan a lograr ahorros sustanciales del recurso agua. En la empresa, no se cuenta con un sistema de gestión de la energía y del agua, ni aparecen registrados dentro de las prioridades de la economía empresarial. Estas condiciones impiden un uso racional de ambos recursos.

Por todo lo anteriormente expuesto, en este trabajo final de especialización, se pretende lograr que el sistema de distribución y uso del agua en el proceso de refinación del petróleo sea lo más racional posible lo que se ve limitado por la problemática siguiente:

Problema científico: En las actuales condiciones de operación de la fábrica, **existe un elevado consumo de agua**, lo que influye en los altos costos energéticos, de producción y en los costos medioambientales.

Por tal motivo, el autor de este estudio sostiene como hipótesis que si se cuenta con una **estrategia de uso racional del agua** en la refinería de petróleo, sustentado por la economía ecológica se podrán disminuir los consumos de este recurso y por consiguiente los costos de producción, de portadores energéticos y disminuirá el impacto ambiental.

Es objetivo de esta investigación **proponer una estrategia de trabajo**, desde la perspectiva de la economía ecológica, para lograr un uso racional del agua en el proceso

de refinación de petróleo, con una reducción de los costos energéticos asociados y consigo disminuir el impacto medioambiental empresarial.

Además, como objetivos específicos será necesario tener en cuenta los siguientes:

- Caracterizar el proceso tecnológico de la planta combinada, en la refinería objeto de estudio.
- Diseñar metodología de diagnóstico y determinación de costos medioambientales del sistema del agua.
- Presentar una propuesta de mejora que contribuya al logro de la racionalidad en el consumo de agua.

Esta investigación se hace necesaria porque permitiría disminuir los elevados consumos de agua existentes en la refinería, permitiría disminuir los costos energéticos asociados al consumo de agua y permitiría disminuir el impacto ambiental.

Entonces, desde el punto de vista social, la implementación de los resultados obtenidos contribuirá al perfeccionamiento del proceso de refinación de petróleo con la reducción del consumo de agua, que tanta repercusión tiene para la sociedad, así como lograr mejores resultados en la conservación del medioambiente al asimilar menor cantidad de residuales agresivos durante la refinación.

El presente trabajo cuenta con un capítulo inicial donde se analiza la literatura existente referida a las metodologías para minimizar el consumo de agua para diferentes procesos tecnológicos. Un segundo capítulo que incluye la caracterización del proceso tecnológico de la fábrica y la propuesta de una metodología para diagnosticar el sistema del agua. Además se presenta una propuesta de mejora, que contribuye al uso racional del agua.

Finalmente, se presenta el diagnóstico realizado con la aplicación de la metodología diseñada, con el aporte de los costos ambientales y como estrategia de racionalidad se presenta una propuesta de mejora, evaluada técnica y económicamente que permite confirmar la hipótesis planteada, así como especificar los aportes concretos al conocimiento, tanto en el orden teórico como práctico, al que se llega como consecuencia del proceso de investigación abordado. Por último, las conclusiones demuestran el alcance de los objetivos investigativos trazados. Las recomendaciones permiten conocer la factibilidad de la continuación de estudios en esta temática del conocimiento. Se han incluido varios anexos para complementar la lectura y el análisis de los datos.

CAPÍTULO I: ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

Desde los inicios de la humanidad, el hombre siempre ha formado asentamientos cerca de los depósitos de agua, esto es debido a la íntima relación que existe entre la vida y dicho recurso. Ahora, esa relación no es solo entre el hombre y el agua, también hay que tener en cuenta otros consumos diferentes a la sola supervivencia, sobre todo por la escasez manifiesta de tan preciado líquido y la creciente contaminación que han sufrido las principales fuentes hídricas mundiales.

En el presente análisis bibliográfico, se abordan y estudian los métodos, herramientas, metodologías que recoge la literatura sobre el tema con el objetivo de encontrar indicadores comunes y procedimientos que permitan utilizar el agua en la industria de forma racional, incluyendo, por supuesto, su impacto medioambiental, para lo cual se hace una revisión de los aspectos fundamentales de la economía ecológica. **Ver anexo 2.**

1.1 La molécula de agua. Las propiedades del agua.

El agua es una molécula polar, que está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno por medio de dos enlaces covalentes. La distribución de los átomos provoca que la molécula tenga dos cargas negativas en un lado y dos cargas positivas en el otro. En estado líquido estas moléculas están apiñadas en forma desordenada. Se pueden mover libremente pero se mantienen adheridas unas a otras por fuerzas atómicas. La disposición tetraédrica de los orbitales sp^3 del oxígeno determina un ángulo entre los enlaces H-O-H aproximadamente de $104'50''$, además el oxígeno es más electronegativo que el hidrógeno y atrae con más fuerza a los electrones de cada enlace (Bastida Lopez E., Martín W.F., Monteagudo Yanes J.P., 2007).

En el agua pura a 25°C de temperatura, existen cantidades iguales de iones H_3O^+ y de iones hidróxido (OH^-); la concentración de cada uno es 10^{-7} moles/litro. Por lo tanto, el pH del agua pura es $-\log(10^{-7})$, que equivale a 7, por tal motivo es de pH neutro.

En el agua, siempre están presente iones hidronio e hidroxilo, los cuales surgen como resultado de la descomposición de la molécula de agua según la reacción:



En la figura siguiente, se puede observar la representación esquemática de la molécula de agua.

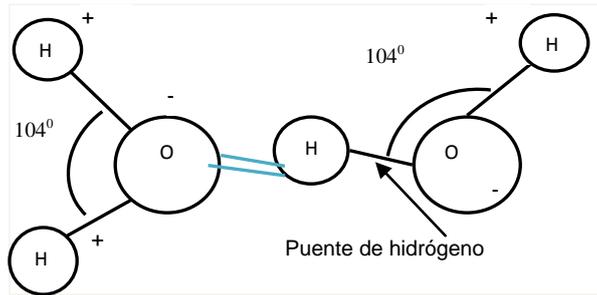


Figura 1.1. La molécula de agua.

Los círculos mayores representan los átomos de oxígeno y los menores representan los átomos de hidrógeno.

El agua, además de ser una sustancia muy abundante en la naturaleza, presenta excelentes propiedades, que la identifican como el disolvente universal, que permiten su uso en todos los procesos industriales. En estado puro, no tiene olor, no es tóxica, disuelve a todas las sales cristalinas y compuestos polares y debido a los valores elevados del calor específico y latente de vaporización, constituye verdaderos volantes térmicos. La utilización del agua en la industria como fluido portador del calor se debe a estas razones.

A continuación se relacionan las principales propiedades del agua pura:

- Densidad del agua a 4 °C es de 0,9997 g/cm³
- Temperatura de ebullición a la presión atmosférica es de 100 °C.
- Temperatura de solidificación a la presión atmosférica es de 0 °C.
- Calor específico (entre 14,5 a 15,5 °C) es de 4180 J / kg / °C.
- Calor de fusión del hielo es de 80 kcal/kg.
- Calor de vaporización 539 kcal/kg.
- Energía de formación molecular es de 58 000 cal/mol.
- La viscosidad del agua es de 1,007.10⁻² Poise a 20 °C.
- Tensión superficial del agua a 18 °C es de 73 dina/cm³.
- La permisividad del agua es del orden de 80
- La conductividad eléctrica del agua es de 4,2.10⁻⁶ mho/m.

La transparencia del agua depende de la longitud de onda de la luz que atraviesa. Los rayos ultravioletas pasan bien, pero los infrarrojos, tan útiles desde el punto de vista físico y biológico, apenas penetran en ella. El agua absorbe fuertemente el anaranjado y el rojo en el espectro visible, a ello se debe el color azul de la luz transmitida en capa espesa.

1.2 Problemática del agua en el mundo y en Cuba.

El agua constituye el 70 % del planeta y se encuentra dispersa en los océanos, ríos, lagos y casquetes polares. Del total de agua que existe en el mundo, sólo se puede utilizar 0,35 % para consumo humano. Los problemas relacionados con este importante recurso natural han sido reconocidos como las amenazas más serias e inmediatas a la humanidad. (diariohoy.net, 2006), plantea que analistas políticos aventuran que las guerras del futuro serán por el control de este vital elemento.

Se estima que en el mundo existen unos 1 386 millones de km^3 de agua, de los cuales 35 millones (2,53 %) son de agua dulce, y 1 351 son aguas salinas (97,47 %). De los 35 millones de km^3 de agua dulce; 24,5 millones de km^3 se encuentran en estado sólido en los casquetes polares, 10,5 millones de km^3 corresponden a aguas subterráneas y 0,1 millones de km^3 corresponden a aguas superficiales (naolinco/igeofcu.unam.mx, 2005). La gran cantidad de agua dulce de las capas polares, glaciares y acuíferos profundos no es utilizable. El agua dulce que puede ser usada procede esencialmente de la escorrentía superficial del agua de lluvia, generada en el ciclo hidrológico, donde el agua se recicla continuamente por la evaporación causada por la energía solar.

La dotación renovable de agua dulce en el mundo se estima en 38,830 km^3 al año, cifra que representa una dotación cercana a los 7,400 m^3 por habitante al año. Estos 38,830 km^3 forman escurrimientos y únicamente quedan cerca de 14,000 km^3 por año como fuente de abastecimiento relativamente estable. (FAO.org, 2002)

La cantidad de agua superficial varía en dependencia del continente, de esta forma las cantidades de aguas superficiales renovables en Asia son 6 veces más altas que las de Antártida. En la tabla 1.1, se muestra la distribución de agua superficial por continentes (CINU, 2003).

Tabla 1.1 Distribución de agua superficial por continentes.

América del sur	10,533 km ³ /año
América del norte	8,199 km ³ /año
África	4,573 km ³ /año
Asia	14,443 km ³ /año
Europa	3,217 km ³ /año
Oceanía/Australia	2,397 km ³ /año
Antártida	2,302 km ³ /año

Los países y territorios del mundo más pobres en agua son: Kuwait (10 m³ anuales por habitante), la faja de Gaza (52 m³), los Emiratos Árabes Unidos (58 m³), las islas Bahamas (66 m³), Qatar (94 m³), las islas Maldivas (103 m³), la Jamahiriya Árabe Libia (113 m³), Arabia Saudita (118 m³), Malta (129 m³), y Singapur (149 m³).

Si se exceptúan Groenlandia y Alaska, los 10 territorios y países que más agua poseen son: la Guyana francesa (812,121 m³ anuales por habitante), Islandia (609,319 m³), Guyana (316.689 m³), Suriname (292,566 m³), Congo (275,679 m³), Papua Nueva Guinea (166,563 m³), Gabón (133,333 m³), las Islas Salomón (100,000 m³), Canadá (94,353 m³) y Nueva Zelandia (86,554 m³).

En el análisis de estas informaciones se aprecian algunas diferencias respecto a los volúmenes, aunque es cierto que provienen de diferentes fuentes pero además contemplan un período desde el año 2002 hasta el año 2006.

Por informe de Naciones Unidas en (ODM, 2000), en la peor de las hipótesis, a mediados del presente siglo 7,000 millones de personas sufrirán de escasez de agua en 60 países y en el mejor de los casos, serán 2,000 millones en 48 países. Se calcula que un 20 % del incremento de la escasez mundial de agua obedecerá al cambio climático. La calidad del agua empeorará con la elevación de su temperatura y el aumento de los índices de contaminación.

A diario, se vierten dos millones de toneladas de desechos en ríos, lagos y arroyos. Un litro de agua residual contamina unos ocho litros de agua dulce. Se estima que hay unos 12,000 km³ de agua contaminada en el mundo entero, es decir, una cantidad superior a la que contienen en total las diez cuencas fluviales más grandes del mundo en cualquier época del año. Si la contaminación sigue el mismo ritmo de crecimiento que la

población, en el año 2050 el mundo habrá perdido efectivamente 18,000 km³ de agua dulce, o sea, una cantidad casi nueve veces mayor que la utilizada actualmente cada año por los países para el regadío, que representa el 70 % del total de las extracciones de agua y constituye, con gran diferencia, el principal consumo de recursos hídricos.

En el informe, se clasifican 122 países en función de la calidad de sus aguas, así como de su capacidad y grado de compromiso contraído para mejorar la situación existente. Los diez primeros países de la clasificación son: Finlandia, Canadá, Nueva Zelandia, Reino Unido, Japón, Noruega, la Federación de Rusia, República de Corea, Suecia y Francia.

Con 3856 millones de hectáreas y 830,7 millones de habitantes, América concentra la mayor cantidad de agua disponible del mundo, 200,000 km³, de los que sin embargo, sólo 42,780 km³ anuales se consideran renovables. Es decir, posee algo más del 31,3 % de la superficie terrestre, el 13,7 % de la población global, y casi el 47 % de la disponibilidad mundial de recursos hídricos renovables. Todo, gracias a que tiene en su haber algunas de las mayores cuencas fluviales del planeta, como el sistema amazónico, el más grande del mundo. Los grandes lagos situados en la frontera entre Canadá y los Estados Unidos constituyen, también, el mayor conjunto lacustre del planeta.

Sin embargo durante los últimos 100 años, debido al crecimiento poblacional, la gran demanda del sector agrícola y el desarrollo de los procesos industriales, los requerimientos de agua aumentaron seis veces; según algunos, más de lo que los ecosistemas pueden soportar. Por citar sólo un ejemplo, en el último medio siglo, en México (Valdés, 2006), disminuyó a más de la mitad el agua disponible para el consumo humano, según datos de la Comisión del Agua de ese país.

La energía hidráulica, que es la fuente energética renovable más importante y de uso más ampliamente extendido, suministró en 2001 el 19 % del total de la producción de electricidad. Los países industrializados explotan aproximadamente el 70 % de su potencial de energía eléctrica, mientras que los países en desarrollo sólo aprovechan el 15 %. Canadá es el mayor productor de este tipo de energía, seguido por los Estados Unidos y Brasil. En América Latina, India y China, hay todavía abundantes recursos hidroeléctricos sin explotar. Con el desarrollo de ese potencial hidrológico, se pueden reducir las emisiones de gases de invernadero en un 13 % aproximadamente (waterportal-americas.org, 2003).

Según la (ONE, 2006), el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Cuba (INRH) reporta que los recursos hídricos cubanos se estiman aproximadamente en 38 km³, compuestos por 83 % de aguas superficiales y 17 % de aguas subterráneas. De estos, el potencial aprovechable se ha calculado en 24 km³ (75 % en aguas superficiales y 25 % en aguas subterráneas).

En la siguiente tabla, se muestra cómo se comporta el uso del agua en Cuba.

Tabla 1.2 Uso del agua en Cuba

Fuente	Riego hm ³	Población hm ³	Industria hm ³	Otros usos hm ³	Total hm ³
Agua superficial	1 868,62	488,34	317,00	1 351,87	4 025,83
Agua subterránea	548,31	847,54	73,22	130,40	1 599,47
Total	2 416,93	1 335,88	390,22	1 482,27	5 625,30

En esta tabla, se observa además una mayor utilización para el regadío de cultivos que representa el 43 %, le sigue el agua cuantificada en otros usos, que incluye pérdidas por transporte, distribución, etc. con un 26 %, luego, el agua para el abasto de la población con 24 % y en menor proporción, el agua empleada para actividades industriales que alcanza 7 %. (CITMA, 2004).

A pesar de estos datos, se hace necesario lograr medidas eficientes que conlleven a minimizar los elevados consumos de agua industrial, si se conocen en el ámbito nacional las empresas más consumidoras de este preciado recurso natural.

1.3 Principales industrias consumidoras de agua en Cuba.

La calidad y cantidad del agua depende de los procesos industriales a los que se incorpore. Existen algunos procesos con muy bajo requerimiento de calidad y volumen como por ejemplo los que la utilizan para la limpieza de materias primas, procesos de cocción, etc. y otros con gran consumo en que el agua hace parte del proceso. Dentro de las industrias más consumidoras aparecen:

1. Industria azucarera.
2. **Industria del petróleo.**
3. Industria textilera.
4. Industria de alimentos y bebidas.

5. Industria de cebada.
6. Industria del acero.
7. Industria papelera.
8. Industria de cemento.

Estas industrias altamente consumidoras son a su vez las de mayor contaminación ambiental por ese concepto. Por consiguiente, una correcta gestión de ese recurso supondría:

- Tomar medidas para la conservación de este recurso tan importante para la vida.
- Reciclar y reutilizar el agua dentro de las propias producciones, y cuando finalmente sean dispuestas como efluente, no deben causar impacto negativo sobre el medio ambiente de acuerdo al cumplimiento de los aspectos legislativos vigentes.
- Controlar las aguas, tanto residuales como para su uso en la industria y los servicios, desde los puntos de vista de sus cantidades y de sus cualidades.
- Particularizar cada utilización del agua para decidir la calidad que se requiere y su volumen.
- Vincular el agua a los consumos de energía, ya que de un aumento de su consumo, o un mal tratamiento o utilización de esta, es responsable de un aumento considerable de los gastos energéticos de las empresas.
- Identificar los puntos que signifiquen ahorros inmediatos con pequeñas inversiones.
- Localizar posibles ahorros de mayor cuantía que requieran inversiones y evaluar su rentabilidad.
- Crear una cultura y educación empresarial sobre la necesidad del uso racional del agua y evitar su contaminación con residuales de diferentes tipos.

Para cumplir con estos requerimientos las empresas deben trazarse metas o estrategias que posibiliten un uso racional de tan preciado líquido.

1.4 Métodos para gestionar un uso racional del agua en los procesos productivos y en los servicios.

Según las experiencias obtenidas en el mundo, algunos autores, (Sobrepera, 2006), (El-Halwagi, M. M. and V. Manousiouthakis, 1996) y (Wang Y.P., Smith R, 1994) coinciden en que existen cuatro formas para minimizar el consumo de agua en la industria:

- Cambios en el proceso - esto involucra reducir la demanda asociada al agua de proceso.
- Reuso - en ocasiones el agua desechada por un proceso puede reusarse directamente en otros procesos, estos casos, se debe tener en cuenta que el nivel de contaminantes proveniente del proceso anterior no afecte el proceso actual.
- Regeneración y reuso - el agua de desecho puede regenerarse parcialmente para disminuir los contaminantes que impiden su reuso en otra operación. En algunos casos, puede sea imposible utilizar esa agua en el mismo proceso del cual ella proviene, porque esa agua puede aumentar los contaminantes paulatinamente en el proceso. Entonces el agua contaminada puede ser mezclada con agua fresca u otra agua regenerada.
- Regeneración y recirculación - el agua desechada puede ser regenerada para quitar contaminantes que se han acumulado en el agua, el agua entonces se recicla y se utiliza en el mismo proceso.

Tomando como base estas experiencias y formas de reducir el consumo de agua, en el mundo se trabajan varios métodos y tecnologías que conllevan al cumplimiento de esos objetivos. Estos métodos son los que generalmente se emplean en la gestión del recurso agua:

1. Métodos estadísticos.
2. Métodos con tecnología *Pinch* y *Water Pinch*.
3. Inteligencia artificial para minimizar consumos de agua.
4. Nuevos conceptos vinculados a la economía ecológica.

1.4.1 Método estadístico.

Esta metodología se basa en la aplicación de una serie de herramientas generales muy conocidas, como por ejemplo, los diagramas de Pareto, diagramas Ishikawa (causa-efecto), gráficos de control y otras herramientas específicas como los balances de masa y energía. Con la ayuda de estas herramientas, se logran efectivos diagnósticos de procesos que permiten mejores toma de decisiones por parte de la administración de los recursos en las industrias. Son, a su vez, las herramientas fundamentales en diferentes sistemas de gestión que aparecen en la literatura.

1.4.2 Herramientas generales.

Las mismas, son un grupo de herramientas estadísticas que se pueden aplicar a la gestión de recursos en general. Dichas herramientas proporcionan una evaluación del problema de forma rápida y sencilla (Sen Samanta, 2001).

A continuación, se presentan algunas de estas herramientas:

- **Gráfico de Pareto:**

Según (Monteagudo, 2004), estos gráficos se utilizan, entre otros usos, para detectar los grandes consumidores del recurso que se quiere minimizar. En este estudio en particular, se analiza el recurso agua. El gráfico está basado en el principio de los pocos vitales y muchos útiles, o sea, que permitirá conocer cuál es el 20 % de las causas que producen el 80 % o más de los efectos.

A continuación se muestra el gráfico que representa a esta herramienta:

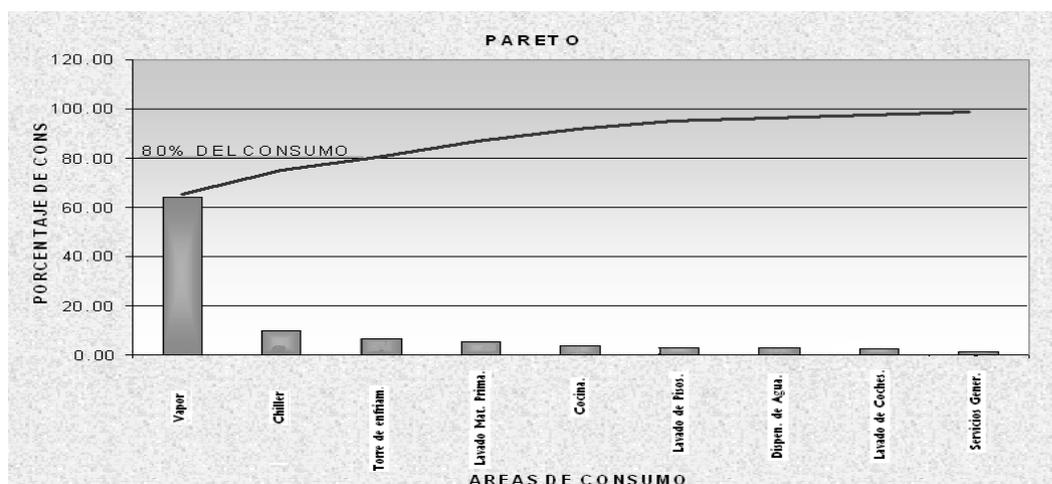


Figura 1.2 Gráfico de Pareto.

- **Diagrama Causa – Efecto o Diagrama de Ishikawa:**

Esta herramienta representa de forma ordenada todos los factores causales que pueden originar un efecto específico, a continuación se muestra el gráfico que representa a esta herramienta

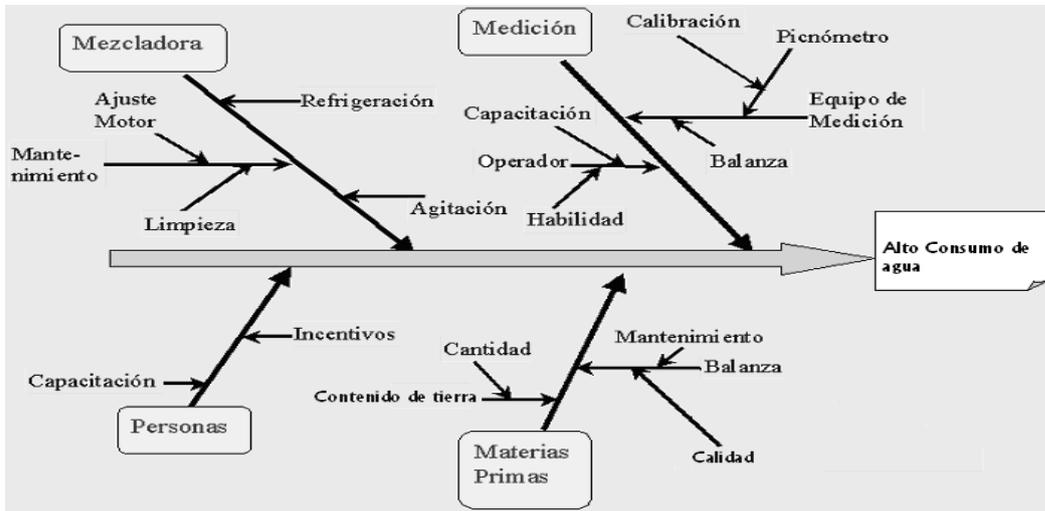


Figura 1.3 Gráfico Causa-efecto.

- **Gráfico de Consumo Vs Producción:** Permite conocer el comportamiento de ambos parámetros en el tiempo.
- **Gráfico de Dispersión:** Este gráfico permite conocer el comportamiento de los consumos y la producción y determinar en ellos la tendencia y su respectiva correlación.
- **Gráfico de control de parámetros:** Los gráficos de control de parámetro son diagramas lineales que dan la posibilidad de observar el comportamiento del parámetro seleccionado, lo que permite determinar si el parámetro está controlado o no.

A continuación, se muestra el gráfico que representa a esta herramienta

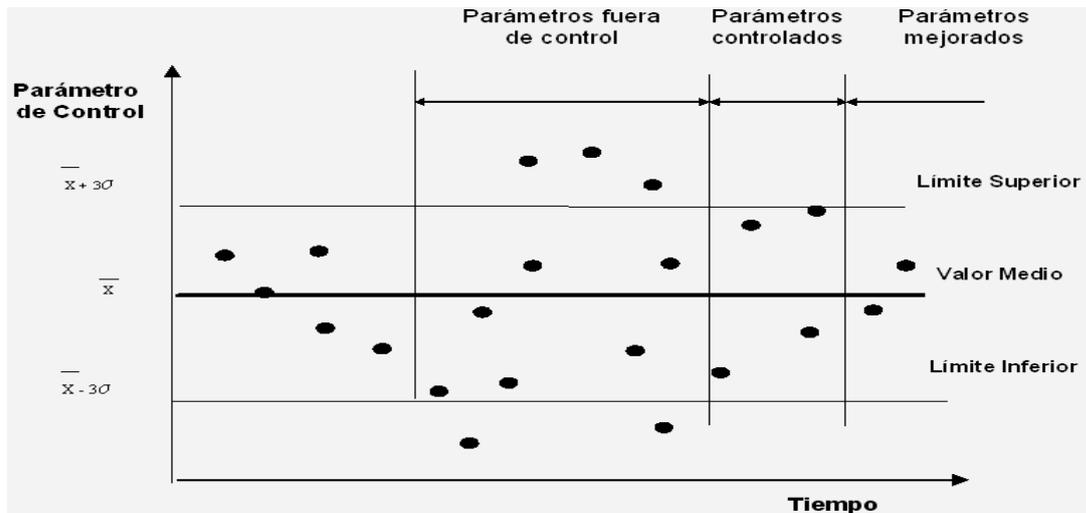


Figura 1.4 Gráfico de control.

1.4.3 Tecnología de pliegue (tecnología *Pinch* y *Water Pinch*) y Tabla cascada de agua (WCT).

El impacto ambiental de las aguas residuales industriales y el costo mucho más alto del agua cruda son serios desafíos que enfrenta la industria de procesos químicos en la actualidad. Desde el enfoque del “tratamiento al final de la tubería” de la década de 1970, las industrias antes mencionadas son cada vez más destacadas en las políticas de minimización de residuos contaminantes que se mitigan en la fuente. Menos contaminantes se traduce en un menor costo del agua cruda, así como el costo reducido de tratamiento de agua.

Para dar solución a parte de estos problemas se utiliza la integración de procesos que se conoce desde finales de los años 70 cuando aparece la tecnología de pliegue y la optimización de las redes de intercambio de calor. Basándose en rigurosos principios termodinámicos, el método de pliegue es usado para determinar el mínimo número de utilidades requeridas para calentar o enfriar corrientes en el proceso. De todos los procesos de integración, el método de pliegue es el más conocido y estudiado (Bérbard, S; Sorin, M, 2001).

La tecnología de pliegue surge como una herramienta para el mejoramiento del diseño de procesos contra la generalizada crisis energética mundial. La principal contribución fue dar a la industria conceptos simples, que fueron usados de forma interactiva.

La tecnología de pliegue o *pinch* (Arriola, A. y Gutierrez, E, 1996) y (Carmona, 2006) ha demostrado que es un buen método de integración y optimización de energía y agua. Este método se fundamenta en la filosofía de las “capas de cebolla” y se puede resumir en los siguientes pasos, según (gpinch.sourceforge.net, 2006):

- Se comienza el diseño en la capa más interna de la cebolla, que representa la parte fundamental del proceso, ya que el funcionamiento de la capa interna afecta a todas las capas externas. Se diseña esta sección de forma óptima de acuerdo a la información disponible.
- Se diseña el sistema de separación y recirculación, con lo que los balances de materia y energía quedan establecidos.
- Se diseña el sistema de intercambio de calor y de recuperación energética de la planta, de forma que los consumos energéticos sean mínimos.
- Se diseña el sistema de servicios generales (calefacción y refrigeración) que mejor cubran las necesidades energéticas de la planta.
- Este proceso de diseño es iterativo, ya que la información obtenida del diseño de las capas exteriores permite modificar y optimizar las capas más internas.

Esta tecnología se apoya en gráficos que resultan ser de gran ayuda a la hora de entender su funcionamiento. Estos gráficos son los de curvas compuestas.

- **Curvas compuestas:** Para la construcción de estas curvas se debe conocer las necesidades mínimas de un proceso (ginusss.eresmas.com, 2011) , como son:
 - Corrientes "calientes", que son aquellas corrientes que por necesidades del proceso, deben enfriarse.
 - Corrientes "frías", que son aquellas corrientes que por necesidades del proceso, deben calentarse.

La curva compuesta mostrará la cantidad total de calor disponible (corriente caliente) y faltante (corriente fría) en el sistema y los niveles de temperatura entre los cuales se necesita calentar o enfriar. Las mismas conservan sus características al desplazarse horizontalmente sobre el eje de la entalpía H. Cuando estas curvas alcanzan la diferencia de temperatura mínima fijada por el diseñador, se produce un cuello de botella denominado punto *pinch* (cheresources.com, 2010). Éste es un método que sólo sirve para la integración energética de una industria, no puede ser utilizado directamente para optimizar agua, porque como se dijo anteriormente, se desarrolla en un marco termodinámico. El autor de este trabajo lo incluye dentro de los métodos para minimizar

el agua, ya que de forma indirecta se puede obtener un gran ahorro en agua de enfriamiento y puede también disminuir la cantidad de agua calentada en una industria. Los principios de la tecnología de pliegue están basados en los conceptos de calor y potencia termodinámicamente analizadas y su estrategia principal es numerar blancos (objetivos) a priori del diseño central (análisis de las reglas termodinámica). Sin embargo, la metodología se ha extendido a otros sistemas que incluyen los que combinan el calor y la potencia, esquemas de integración de columnas de destilación, hornos y diseño general de procesos, el resultado es que es una herramienta totalmente de la ingeniería de procesos, tales como: petróleo, petroquímica, pulpa y papel, cemento, acero y otras.

A partir de los años 1980, la industria de procesos químicos comenzó a mostrar interés en la implementación de políticas que analizaran el flujo de contaminantes como flujos de materiales de valor que podían ser recuperados de manera efectiva, debido a esto, en los últimos años, se han observado avances significativos en la optimización y síntesis de procesos ambientales. Estos avances también han sido en respuesta a regulaciones ambientales cada vez de mayor exigencia que han presionado a las industrias para desarrollar estrategias de prevención y minimización de la contaminación a un costo rentable.

La Integración de Procesos es una tecnología sistemática, basada en un enfoque hacia el desarrollo de procesos que permite al ingeniero de proceso ver un gran escenario primero y los detalles después. Permite identificar los objetivos globales de eficiencia antes de cualquier actividad de desarrollo y encontrar la estrategia óptima para llevarlo a cabo. Estos objetivos pueden ser, por ejemplo, minimización de los requerimientos energéticos, minimización de la generación de residuales o maximización de la eficiencia del proceso.

La integración de procesos se caracteriza por dos elementos: la energía y la masa (Cripps, 2000). La integración de energía caracteriza el flujo global dentro de cualquier proceso e identifica las políticas óptimas para su distribución (y redistribución) y de esta forma, se obtiene la configuración óptima para el consumo mínimo de ésta.

La integración de masa es una técnica relativamente nueva que se ha desarrollado mucho en los últimos años. Las investigaciones en este tema han conducido al desarrollo de una herramienta sistemática y potente para el entendimiento total del proceso y explotar así sus posibilidades de integración (Dunn R. and Wensel H., 2001).

La integración de procesos de manera muy general se ha utilizado a lo largo de muchos años. Sin embargo recientemente ha sido convertida en una herramienta primordial a través del uso de la experiencia de ingeniería y de la observancia de modelos específicos en determinados procesos. De estos conceptos, se deriva la tecnología “Pliegue del agua” cuyo objetivo fundamental está enfocado a los sistemas de agua.

“Pliegue del agua” es una técnica sistemática para el análisis de redes de agua y la reducción de los costos de agua para procesos. Utiliza los algoritmos avanzados para identificar y optimizar el mejor reuso del agua, la regeneración y oportunidades de tratamiento de efluentes”.

Las formulaciones teóricas fundamentales para la aplicación de los principios de análisis de pliegue para los problemas de agua (residuos) fueron iniciadas por (El-Halwagi, MM y V. Manousiouthakis, 1989). Mientras el primer intento para reducir al mínimo el uso del agua mediante su reutilización fue reportada por (Wang, YP y Smith R, 1994). Desde entonces, dos enfoques principales de diseño se han desarrollado - por UMIST y Linnhoff March. El enfoque Linnhoff March ha sido patentado y lleva el nombre comercial de pliegue del agua (*water pinch*) (Dhole, 2000). Esta metodología aplica el razonamiento de la tecnología pinch descrita anteriormente.

La optimización del agua en la industria y la reducción de contaminantes presentes en ella, son las principales características de este método.

Esta metodología permite diseñar una red de intercambiadores de masa. Esto incrementa la regeneración y el reuso de aguas industriales. De tal manera que desde el diseño de la red se puede saber la cantidad de agua limpia demandada por el proceso y la cantidad de agua desechada por el mismo.

Existen diferentes formas de desarrollar la metodología *Water Pinch* en una industria. A continuación se describen brevemente cada una de ellas.

Las diferentes formas de aplicar el *Water Pinch* coinciden en identificar el sistema de agua que pueda dar más ahorros al cambiarlos o reformarlos. Normalmente, se trazan gráficos de sensibilidad. Estos gráficos discriminan los sistemas que usan agua que no representen un importante ahorro al ser cambiados.

Perfil límite de agua: (uneptie.org, 1998). Este es un método gráfico que propone una sola fuente de agua. El racionamiento es que un proceso puede tener en su salida aguas que pueden suplir las necesidades de otro proceso.

La construcción de la única curva compuesta comienza con la caracterización de las corrientes. Se hace referencia a las corrientes que por flexibilidad del proceso admitan más carga de contaminantes (corriente de fuente) y las corrientes que por necesidades del proceso tengan que deshacerse de ellas (corrientes de demanda).

Después de la caracterización de las corrientes, se deben calcular las cantidades de carga de contaminante que se transferirá de la corriente de demanda a la corriente fuente. Con estos datos, se procede a representar en un gráfico todos los valores de masa transferida. Este gráfico tiene en sus ejes el nivel de pureza del agua y la cantidad de masa transferida.

Luego, se procede a sumar los tramos anteriormente graficados y se obtiene la única curva compuesta. La única fuente de corriente se representa con una línea recta y se coloca justo debajo de la curva compuesta (ambas coinciden en el origen). El punto donde estas dos curvas se unen es el punto *pinch*.

Esta curva permite el diseño de la red de intercambiadores de masa junto con los valores de consumo óptimos de agua limpia y valores mínimos de agua de desecho. Esta variante del método *Water Pinch* es complicado y requiere mucha destreza del diseñador de la red.

- **Dos curvas compuestas:** Esta metodología es muy parecida al método de integración energética descrito anteriormente, propone dos curvas compuestas en un plano con pureza y flujo de masa en los ejes. De la misma forma anterior, se requiere caracterizar las corrientes de proceso. La diferencia entre estos dos métodos es que las gráficas se hacen separadas. Estas curvas se pueden desplazar en forma paralela al eje de flujo de masa. El punto donde estas dos curvas se tocan ocurre el punto *pinch*.

Esta gráfica define un traslape donde se debe dar el reuso y dos regiones sin traslape donde refleja las necesidades de agua fresca y agua desechada.

Las dos metodologías vistas anteriormente son muy útiles para entender el funcionamiento del método *Water Pinch* desde el punto de vista gráfico. Pero cuando se requieren cálculos más exactos, es poco lo que estos dos métodos pueden hacer.

Existe un método derivado de *Water Pinch* que cubre las debilidades de los métodos anteriores. Además, es muy sencillo de programar en un procesador. Este método es conocido como la tabla de cascada de agua (WCT).

Los autores Wang y Smith presentaron una técnica gráfica que es una adaptación de la integración de calor utilizando la tecnología del pliegue. Mediante el trazado de límites

de curvas compuestas frente al límite intervalo de composición, se puede localizar el mínimo de agua dulce y los caudales de aguas residuales ante cualquier diseño de red. También fueron exploradas las oportunidades para la regeneración- reuso y regeneración- reciclado.

Además se presentó un procedimiento sistemático de diseño de red, que permitió cumplir los objetivos. Este es un paso importante en el diseño de la red de agua, aunque la supuesta utilización de agua de proceso como una operación de transferencia de masa incurre en algunos de los principales inconvenientes en el análisis.

Según (Ramchandani, N. Dhole, V., Tainsh, R. A., Wasilewski, M, 1996), señalaron correctamente que algunas operaciones unitarias tales como reactores, torres de enfriamiento y calderas pueden no ser adecuadas para modelarse como las operaciones de transferencia de masa. A su vez, propusieron el uso de fuentes de agua y las curvas compuestas de demanda para buscar el mínimo consumo de agua dulce y la generación de aguas residuales. También demostraron que el logro de una mezcla adecuada podría reducir aún más el consumo de agua fresca. Sin embargo, más adelante (Polley, G. T. and Polley, H. L, 2000) señalan que a menos que el sistema de flujo de mezcla correcta sea identificado, los objetivos aparentes podrían ser considerablemente mayores que el verdadero mínimo de agua fresca y de aguas residuales.

(Hallale, 2001), señaló recientemente que la fuente de agua y las curvas compuestas de demanda no pueden dar una idea clara del análisis. Los resultados obtenidos pueden no ser una verdadera solución, ya que dependen en gran medida de los patrones de mezcla de las corrientes. A su vez, presentó un diagrama de excedente de agua en la selección del mínimo de agua fresca y las aguas residuales. Este método fue adaptado a partir del análisis del pliegue de hidrógeno. (Alves, 1999), cuenta con una representación similar a la fuente de agua y las curvas compuesta de demanda propuesto por (Dhole, 2000), superando así las limitaciones en el enfoque basado en la transferencia de masa. Sin embargo, esta nueva representación crea automáticamente todas las posibilidades de mezcla para determinar el verdadero punto de pliegue o pellizco y objetivo de la reutilización.

Una buena revisión sobre las otras técnicas existentes (por ejemplo, el método de modelado matemático) para abordar la cuestión sobre el agua en el diseño de redes de planta de proceso fue presentada recientemente (Bagajewicz, 2000). No obstante, la

mayoría de las técnicas se han centrado en procesos continuos, con muy pocos estudios realizados para los procesos por lotes.

El primer trabajo para la minimización de agua para la operación de los procesos por lotes en el análisis del pliegue es reportado por (Wang, 1995) al poner el tiempo como principal restricción de proceso. Los autores trataron de maximizar el uso de la fuerza de la transferencia de masa en cada uno de los perfiles de concentración. Sin embargo, no lograron llegar a una buena representación de las redes de agua. Las propuestas de utilización de redes de agua han estado representadas de manera convencional mediante un diagrama de red de agua para procesos continuos. El principal inconveniente de esta representación es que un diseñador no puede visualizar cómo estos procesos están relacionados con el tiempo. Claramente, se requiere de una mejor representación de las redes de agua.

Más recientemente, los ingenieros Yin Ling Tan, Abdul Manan Zainuddin, Chwan Yee Foo, (Foo, C. Y., Z. A. Manan, R. M. Yunus, R. A. Aziz, Tan, Y. L, 2002), de la Universidad Tecnológica de Malasia presentan una nueva representación de las redes de agua de proceso por lotes. Ellos demostraron que, con el fin de alcanzar los objetivos de utilidad, debe llevarse a cabo de forma independiente el diseño de redes para los sistemas de proceso por lotes en cada intervalo de tiempo. Proponen una nueva representación llamada redes generales de agua - tiempo, donde las operaciones del uso de agua se muestran en el horizonte de tiempo.

Según (Kemp, I. C. and Deakin, A. W, 1989), en el mencionado trabajo, aparece una herramienta para focalizar la utilidad mínima del agua o reducción al mínimo del consumo de agua titulada Tabla cascada de agua (WCT por sus siglas en inglés) donde se operan tanto los sistemas de procesos continuos como los procesos por lotes.

El método de **La tabla de cascada de agua** (WCT): (Dominic Chwan, Y. F, Zainuddin, A. M, Yin Ming Tan, 2006) consiste en la realización de una tabla donde se requieren los datos de las corrientes del sistema (carga de contaminantes y pureza de las corrientes). Dichos datos se operan con ecuaciones muy sencillas para terminar de llenar la tabla de datos. Esta tabla da la información de cantidad de agua fresca requerida y la cantidad de agua desechada. También proporciona los puntos *pinch*.

La tabla de cascada de agua se puede extender a procesos discontinuos y proporcionar consumos óptimos de agua en intervalos de tiempo distintos.

La WCT es una adaptación del diagrama de exceso de agua, por lo tanto, supera las limitaciones del enfoque basado en transferencia de masa. Además, la WCT se tabula de forma natural, lo que evita el ejercicio tedioso de solución de prueba - error en la clasificación del diagrama excedente de agua para la obtención de objetivos mínimos de utilidad.

En primer lugar, se muestra la utilidad de la WCT en la determinación de los objetivos mínimos de utilidad en los procesos continuos. Mientras la segunda parte del documento se centra en el problema de minimización de agua de procesos por lotes. Los objetivos mínimos de servicios públicos se obtienen por la WCT tiempo-dependiente, un WCT modificado para procesos continuos. Más adelante presentan una utilización del procedimiento sistemático de la red de agua, con la reciente introducción de redes de agua - tiempo en el logro de los objetivos la utilidad mínimos establecidos.

1.4.4 Inteligencia artificial para minimizar consumos de agua.

Unido a las técnicas antes mencionadas, se han seguido políticas encaminadas a disminuir los consumos de agua fresca optimizando las redes de distribución de agua, tanto dentro de la industria como fuera de ella. Aunque las técnicas clásicas de optimización son aplicables de una forma muy eficiente a infinidad de casos prácticos en el campo de la ingeniería, las características del modelo propuesto por (Carrión, P. y López, E, 2003), al tratarse de un problema no lineal con numerosas variables, el número de máximos locales es elevado, esto complica enormemente la utilización de aquellas, lo que resulta más adecuado el uso de técnicas basadas en la computación evolutiva.

Por otra parte, muchos de los métodos de optimización basan su búsqueda del óptimo en movimientos punto a punto dentro del espacio de búsqueda, utilizando para ello una serie de reglas de transición. Así, las basadas en técnicas de gradiente, requieren la existencia de derivadas, además de partir de una distribución inicial de caudales en la red, fijada por el diseñador de esta, con la consiguiente dependencia de estos valores iniciales (Montesino, Ma P. García-Guzmán, A. Ayuso, J. L, 2005). Este tipo de búsqueda puede llevar a la identificación de falsos óptimos en problemas multimodales. Por el contrario, los algoritmos genéticos trabajan a partir de una rica base de datos de

puntos simultáneos, saltando a muchos de ellos de forma paralela, con lo que la probabilidad de encontrar un óptimo local se reduce con respecto a los métodos citados.

- **Los algoritmos genéticos (AG)** sólo necesitan el valor de la función objetivo asociada a cada punto del espacio de soluciones y una serie de reglas probabilísticas para guiar su búsqueda (Goldberg, 1989).

En la actualidad, las técnicas de optimización de recursos se basan fundamentalmente en la programación matemática (modelos matemáticos). Los algoritmos genéticos (Vasile LAVRIC, 2000) han sido una buena solución de problemas de optimización, donde han mostrado ser muy eficientes y confiables (içgeocities.com, 2005) y (Marczyk, 2006).

Los algoritmos genéticos son un resultado de los avances de la computación y de la genética. Son herramientas de la inteligencia artificial porque aprenden simulando parcialmente los mecanismos de la evolución.

Los algoritmos genéticos son parte de la computación evolutiva, que simula el proceso de selección natural. Un algoritmo genético consiste en una función matemática o una rutina de *software* que toma como entradas a los ejemplares y retorna como salidas, las cuales deben generar descendencia para la nueva generación. En un algoritmo genético, se genera un conjunto con algunas de las posibles soluciones (fciencias.unam.mx, 2005) y (orcero.org, 2006) y otorgan valores óptimos de las variables de un proceso en forma puntual. Mientras que las redes neuronales extienden esos valores a procesos discontinuos

- **Redes neuronales artificiales (RNA):** Las redes neuronales artificiales son sistemas paralelos para el procesamiento de la información, inspirados en el modo en el que las redes de neuronas biológicas del cerebro procesan información (Catalina,). El punto clave de las RNA (Bollilla, 2008) es la nueva estructura de estos sistemas para el procesamiento de la información. Estos están compuestos, al igual que el cerebro, por un número muy elevado de elementos básicos (las neuronas), altamente interconectados entre ellos y con modelo de respuesta para cada elemento en función de su entorno muy parecido al comportamiento de las neuronas biológicas. Para entender el funcionamiento de la RNA, es necesario entender primero cómo funciona una neurona biológica.

Los diferentes métodos y tecnologías que se siguen en el mundo para gestionar el mejor uso del recurso agua y que se estudian en este trabajo, buscan un aumento en la

competitividad de las empresas a través de una mejora en la eficiencia del consumo del agua y reportan menores costos de producción, así como menor impacto medioambiental, no obstante, los métodos basados en la computación evolutiva son un tanto inapropiados o inaplicables a la industria pues la falta de preparación de operarios así lo impide.

1.4.5 Huella ecológica y Huella hídrica.

A principios de siglo, aparece el concepto de Huella ecológica (Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y, 2004) que involucra el quehacer de la vida cotidiana y su vínculo con el medio ambiente, por supuesto debido a su importancia y trascendencia no podía faltar la incidencia del agua dentro de esa huella. Por tal motivo, no tardaron las críticas al nuevo concepto que excluía el fenómeno del agua. Esto trajo consigo la aparición del concepto de Huella hídrica (Chapagain, A.K., Orr, S, 2008) que por defecto solo recoge la trazabilidad del agua en la vida de un grupo de países o regiones, pero no involucra los procesos industriales ni la posibilidad de reducir los consumos de esos procesos.

La huella hídrica de una industria es el volumen total de agua utilizado globalmente para producir los bienes y servicios consumidos por sus producciones. Incluye el agua sustraída de los ríos, lagos y acuíferos (aguas superficiales y subterráneas) para el proceso tecnológico y el uso doméstico, así como el agua de lluvia utilizada (recuperada) para alimentar calderas. La Huella hídrica es análoga a la Huella ecológica: mientras que esta última calcula el área total de espacio productivo requerido para producir los productos y servicios consumidos por una determinada población, la huella hídrica calcula el volumen de agua necesario para producir los mismos bienes y servicios (Informe Planeta Vivo , 2008).

- La huella hídrica total (Informe Planeta Vivo , 2008) de una industria tiene dos componentes.
- La huella hídrica interna es el volumen de agua necesario para producir y proporcionar los bienes y servicios que se producen y consumen dentro de dicha industria
- La huella hídrica externa es la resultante del consumo de bienes importados (productos importados), es decir, el agua que se utiliza para la producción de bienes en otra industria exportadora. Las exportaciones de una industria no están incluidas como parte de su huella hídrica.

Por consiguiente, la huella hídrica de un producto es el volumen total de agua dulce utilizado para elaborar dicho producto, sumado a lo largo de toda la cadena de producción. A veces esto se denomina el contenido virtual de agua de un producto.

En cualquier industria, se necesita agua para producir bienes y servicios que son consumidos internamente o exportados. La huella hídrica de la producción representa toda el agua utilizada para uso doméstico, industrial y de servicios en una industria, independientemente de dónde se consumen realmente los bienes producidos.

1.5 La Economía ecológica.

La Economía ecológica se puede entender como la nueva disciplina de “gestión de la sustentabilidad” (Constanza, 1999). Una disciplina que aporta el marco metodológico, instrumentos teóricos, técnicos y prácticos que contribuyen a la resolución y revisión sobre las formas de producción, transformación y consumo de los recursos naturales bajo un enfoque ecointegrador.

El nuevo conocimiento ha sabido construir un importante cuerpo teórico e instrumental que facilita y pone en las manos de múltiples actores sociales, una forma original de analizar las relaciones sociedad-naturaleza y tiene como objetivo colaborar en la aportación de elementos que faciliten a las comunidades del Sur y del Norte alcanzar un desarrollo más armónico y sustentable del proceso económico, teniendo en su centro y foco principal al hombre y su ambiente.

En la década de los setenta, clásicos conceptos físico-naturales como energía, entropía, ecosistema o flujo energético, cobraron nuevos bríos y pasaron a impregnar el lenguaje de los especialistas en ciencias humanas, pues a principios de los setenta era ya evidente para algunos que podían existir limitaciones físicas y ecológicas al crecimiento poblacional, que el modelo de desarrollo seguido en los países industrializados, basado en el consumo intensivo de energía y en una escasa atención a las condiciones ecológicas del planeta, podría no ser el adecuado.

La economía ecológica no es un apéndice más o menos independiente de la teoría económica, sino que es un campo de estudios transdisciplinar. Puede definirse como la ciencia de la gestión de la sostenibilidad y como tal, estudia las interacciones entre la sociedad y la naturaleza, muy por encima de los limitados abordajes tanto de la economía como de la ecología, ciencias con las que se relaciona, al igual que con otras que estudian con firmeza la problemática ambiental compleja como la ecología política,

la agroecología, sociología, ecología de paisajes o ecología urbana. La economía ecológica adopta la teoría de sistemas para la comprensión de los fenómenos ecológicos y los integra a los estudios de los límites físicos y biológicos debidos al crecimiento económico. Dentro de sus principales herramientas para lograr este objetivo, se trabaja con la metodología del Análisis del ciclo de vida (ACV) o *Life Cycle Analysis* (LCA), por sus siglas en inglés. Estudia a las sociedades como organismos vivos que tienen funciones como las de captación de la energía, utilización de los recursos y energía de la naturaleza y eliminación de sus residuos (metabolismo social). Este metabolismo urbano, rural, industrial funciona de distintas maneras, en diferentes etapas desde la captación de la energía hasta su eliminación (Toledo, 2008).

1.6 Metodologías para la contabilidad de la gestión medioambiental.

La Contabilidad medioambiental es considerada un fundamento teórico para la medición y exposición de los efectos que la actividad del ente produce sobre el entorno, dentro del marco de la problemática medioambiental. Por tanto, se puede decir que la Contabilidad medioambiental enriquece con información propia a la contabilidad patrimonial y a la contabilidad de gestión (Schaltegger, S. & Burritt, R, 2000)

Desde los años setenta, numerosos conceptos de contabilidad de costos medioambientales se han desarrollado según la variedad de propósitos y situaciones de decisión. El desarrollo de la gestión del costo medioambiental ha ido de la mano con los cambios en la política medioambiental y los nuevos enfoques de gestión medioambiental. En esos años, la política medioambiental y la gestión medioambiental se centraron en la emisión de desechos y desperdicios, abordando su reducción. Hoy, en contraste, el debate se centra en la **ecoeficiencia, la gestión del ciclo de vida del producto** y las acciones estratégicas para fomentar actividades sostenibles (este concepto está ligado también con el desarrollo de modelos sostenibles).

Según (Gale, R.J. & Stokoe, P.K, 2001), existen seis metodologías internacionalmente conocidas para una exitosa implantación de la contabilidad de gestión medioambiental, las cuales se plantean a continuación:

- ABC / ABM.
- Gestión de la calidad total / Gestión de la calidad medioambiental total.

- Reingeniería de procesos / Reducción de costos.
- Diseño para el medio ambiente (Ecodiseño) / Diseño de ciclo de vida y asesoramiento.
- Ciclo de vida / Costeo del ciclo de vida.
- Evaluación y tratamiento del costo total.

Se reconoce que de todas, las más utilizadas son las que relacionan costeo ABC, basado en un diseño del ciclo de vida, con el respectivo tratamiento de estos costos, para su asignación final. En esta investigación, se utiliza el ciclo de vida como herramienta para localizar los costos medioambientales y un tratamiento y evolución del costo gestionado.

A continuación, se refiere la relación necesaria establecer entre los costos medioambientales y el ciclo de vida del producto y/o servicio, enfocado en esta nueva concepción, donde la responsabilidad de la empresa como ente productor no termina en la conformación del bien sino en la disposición final.

1.6.1 Costos medioambientales.

Los costos medioambientales son impactos negativos provocados por la sociedad, una organización o el resultado individual de las actividades que afectan la calidad ambiental. Estos impactos pueden ser expresados en términos monetarios o no monetarios, incluyendo cualquier tipo de costo directo o menos tangible, con consecuencias para la empresa a corto o largo plazo.

Estos costos comprenden tanto los costos internos como los externos (Ver tabla 1.3) y se relacionan con todos los costos ocurridos en relación con el daño y la protección ambiental. Los costos de protección ambiental incluyen costos de prevención, disposición, de planeamiento, de control, el entendimiento de acciones y la reparación de daños que pueden ocurrir en la compañía y afectar al gobierno y a la gente (VDI, 2000).

A continuación, se muestra la tabla 3.1, que hace referencia a la clasificación de costos medioambientales, según (Berry T. & Failing L, 1996).

Tabla 1.3 Clasificación de Costos Medioambientales.

COSTOS AMBIENTALES EXTERNOS	
Ejemplos <ul style="list-style-type: none"> • Agotamiento • Daños e impacto anti-estéticos • Aire residual y emisiones de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Disposición de desechos a largo plazo • Efectos en la salud no compensados • Cambios en la calidad de vida local
COSTOS AMBIENTALES INTERNOS (Gale & Stokoe 2001, p.120)	
Costos Ambientales Directos o indirectos Ejemplos: <ul style="list-style-type: none"> • Administración de desechos • Costos u obligaciones de remediación • Honorarios permitidos • Entrenamiento ambiental • I&D orientado ambientalmente • Mantenimiento relacionado ambientalmente • Costos y multas legales • Bonos de aseguramiento ambiental • Certificación/Etiquetado ambiental • Entradas de recursos naturales • Mantenimiento de registros y presentación de reportes 	Costos ambientales De Contingencias o Intangibles Ejemplos: <ul style="list-style-type: none"> • Costos de remediación o compensación futura incierta • Riesgos a los que se está expuesto por futuros cambios reguladores • Calidad del producto • Salud y satisfacción de los empleados • Activos de conocimiento ambiental • Sostenibilidad de entradas de materias primas • Riesgo de activos deteriorados • Percepción del público/cliente

Según (Scavone, 2000), existen tres posibilidades ante la identificación de los costos medioambientales y que se utilizan para reflejar la información medioambiental:

- El costo medioambiental como contingencia y/o pérdida.
- El costo medioambiental como mayor activo o inversión.
- El costo medioambiental como gasto del ejercicio.

El término contingencia se refiere a la posibilidad de que ocurra o no, en el futuro, un hecho incierto en el presente y que de producirse en el futuro, se generará una variación patrimonial modificativa, ya sea positiva o negativa. En cuanto al concepto de pérdidas se puede definir como las reducciones del patrimonio que no están acompañadas por ingresos.

En cuanto a la consideración del costo medioambiental como un activo, hay que tener presente que la realización de una inversión para el tratamiento de residuos o para algunos procesos de filtrado, son necesarias y obligatorias según la legislación, para lograr índices aceptables según la ley, aunque estas inversiones pueden ser recuperadas por la vía del marketing gracias a la competitividad de la empresa y de su producto sobre otros competidores, gracias a la conciencia creada sobre el medio ambiente.

La consideración del costo medioambiental como gasto del ejercicio es la salida necesaria para la no imputación como mayor valor del inmovilizado, teniendo en cuenta que además, siempre existen determinados costos necesarios de materiales consumibles; ejemplos de ello son los bienes depreciables en un solo ejercicio, como:

1. Reactivos y catalizadores para ciertos procesos de metabolización de residuos petrolíferos con detergentes y otros productos (cultivos de bacterias, dispersores, etc.)
2. Reactivos y catalizadores necesarios para la eliminación del crudo en el agua (vertidos y derrames), de los que suele haber cierta cantidad en las exploraciones petrolíferas y refinerías para solucionar los problemas que se van originando en sus instalaciones.

De acuerdo con una posible clasificación que debe darse a los costos medioambientales son:

1. Costos ambientales evidentes: son aquellos que pueden ser tomados directamente de las cuentas contables, por ejemplo: costos de eliminación de los residuos.
2. Costos (beneficios) ambientales no registrados: son los que repercuten en el resultado operativo, pero no se encuentran asentados contablemente, por ejemplo: menos casos de enfermedad, ausencia de necesidad de inversiones, etc.
3. Costos ambientales ocultos (Satish Joshi, Ranjani Krishnan, y Lester Lave , 2001): son aquellos que están asentados en la contabilidad, pero solamente pueden ser obtenidos a través de diversos registros, por ejemplo, amortizaciones relevantes para el medio ambiente, costos de personal para actividades operativas ambientales.

Otra clasificación interesante es la realizada por el *Whistler Centre for Business and the Arts*¹⁵, que distingue los costos ambientales según sean internos o externos a la empresa, una clasificación que el autor considera aplicable en todos los sentidos, pues

hace una distinción entre las llamadas externalidades medioambientales y los desembolsos medioambientales que ocurren en la empresa, sean estos directos o indirectos, coincidiendo además con los criterios de (Gale, R.J. & Stokoe, P.K, 2001).

1.6.2 Enfoque de ciclo de vida de un producto como herramienta para gestionar los costos medioambientales.

La evaluación del ciclo de vida (LCA por sus siglas en inglés) es una herramienta que se usa para evaluar el impacto potencial sobre el medioambiente de un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida mediante la cuantificación del uso de recursos (entradas como energía, materias primas y agua) y emisiones medioambientales (salidas al aire, agua y suelo) asociados con el sistema que se está evaluando (GEMI, 1992).

La *International Standard Organization* (ISO) define el ciclo de vida de un producto como: "un marco de referencia que contiene los procesos, las actividades y las tareas involucradas en el desarrollo, la explotación y el mantenimiento de un producto, abarcando la vida del sistema desde la definición de los requisitos hasta la finalización de su uso".(ISO 12207).

“LCA es un proceso objetivo usado para evaluar las cargas medioambientales asociadas con un producto, proceso o actividad a través de todas las etapas de su vida” (Iturria, 2000).

Es conocido que el ciclo de vida es la evaluación mediante un conjunto sistemático de procedimientos, de las entradas y salidas de materia, agua y energía y del impacto medioambiental atribuible a un producto o servicio durante su vida, entonces, con el uso de esta técnica o herramienta, se ilustran los principales desechos y desperdicios generados por un producto hasta su disposición final, pero para llegar a los costos medioambientales internos antes, se debe definir la metodología que hay que seguir para el ciclo de vida de dicho producto o servicio (Rieradevall, 1998).

Según el grupo de la ISO 14040 de 1999 y las ISO 14041, ISO 14042 e ISO 14043, se define el ciclo de vida en 4 etapas fundamentales:

- **Etapas I:** Alcance: Se define hasta dónde se va a reflejar el ciclo de vida. En esta investigación, se van a considerar los productos del período seleccionado (un mes) desde la entrada de materia prima, agua y energía hasta la disposición dentro de la

misma Empresa y se tendrá en cuenta categorías físicas y monetarias, para la determinación final de los costos.

- **Etapa II:** Entrada → Proceso → Salidas (balance de materiales): En esta etapa, se delimita las principales entradas de materias primas, agua y energía, se realiza una descripción del proceso que transforma estos elementos y se concentra en las salidas, donde además del producto en proceso o terminado, se encuentran los principales desechos y desperdicios. Para una mejor aplicación de esta etapa, se deben definir correctamente los procesos, aspecto este de elevada importancia.

La unión de las entradas, los procesos y las principales salidas (entre ellas, las que provocan impactos medioambientales) es conocida como balance de materiales. Para la aplicación de esta herramienta, se presenta una gran barrera, pues las entidades solamente contabilizan los desechos que dada su definición, tienen un valor aún, por lo que puede ser vendido, ya sea a los trabajadores de la empresa, a la población o directamente a la Empresa de Recuperación de Materias Primas para su uso o reciclado. Se presenta entonces una necesidad ¿Qué cantidad de desechos y/o desperdicios se generan por cada uno de los productos, por procesos y actividades?. De esta manera, se pueden conocer cuáles son los productos que más desechos y desperdicios generan y por consiguiente mayor posible impacto medioambiental. La solución a esta problemática aparece con la aplicación de una herramienta estadística: La esperanza matemática (Franco, L., Olmedo, E. & Valderas, J, 2006).

Para la aplicación de esta herramienta, se parte de una muestra lo más grande posible, para reducir el margen de error y se logra una distribución normal. Los valores de la muestra se definen como X_i , donde i crece desde 1 hasta n (cantidad total de la muestra), siendo X el valor que se obtiene mediante la medición. Este constituye el primer paso y más importante, pues dichas mediciones deben ser lo más precisas posibles.

El segundo paso se define como la determinación de la probabilidad en que ocurre cada valor obtenido. Lógicamente los valores que se repitan deben tener mayor probabilidad de ocurrencia. Esta probabilidad se determina según la ecuación 1.1:

$$\text{Probabilidad de ocurrencia} = \frac{\text{Cantidad de valores iguales a } X_i}{n} \quad (1.1)$$

Dónde:

n = cantidad total de la muestra.

El tercer paso sería relacionar la probabilidad de ocurrencia obtenida anteriormente de X_i con el valor de X_i multiplicando ambos elementos. Como cuarto y último paso se sumarían cada uno de los valores determinados en las multiplicaciones del paso tres y este resultado final será la esperanza matemática del aspecto que se esté midiendo.

Puede existir una variación con respecto al balance de materiales, lo cual está dado por la presencia de procesos continuos que surgen de la transformación de una única materia prima donde, durante todos los procesos productivos, se van obteniendo diversos productos terminados. Se está en presencia de costos conjuntos, y para ello hay que realizar el balance de materiales para la materia prima, al igual que el ciclo de vida.

- **Etapa III:** Clasificación: Se correlacionan los impactos de las salidas de los procesos de la Entidad con los efectos medioambientales que producen, entre los que se encuentran:
 - a) Efecto invernadero (Recalentamiento global).
 - b) Consumo de energía.
 - c) Agotamiento del ozono.
 - d) Contaminación de las aguas.
 - e) Consumo desmedido de agua.
 - f) Nutricación.
 - g) Desechos y basura.

Para visualizar mejor los impactos que pueden ocurrir según las salidas de cada uno de los procesos que influyen en el medio ambiente, es posible formalizar el portafolio medioambiental de la empresa según Ellipson AG, 1997.

- **Etapa IV:** Valoración económico – medioambiental: Se define como la asignación de los diferentes costos económicos ambientales internos a cada uno de los productos basándose en las categorías medioambientales y considerando dos clasificaciones de costos fundamentales (GEMI, 1992), los costos directos, relacionados con la pérdida del material, agua y energía y los costos de disposición y tratamiento, entre otros.

En la actualidad, se puede decir que un material es sostenible cuando es compatible con el principio clásico de la sostenibilidad siguiente “satisfacción de las necesidades de las generaciones actuales, sin hipotecar la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas” (comisión mundial de las Naciones Unidas sobre medio ambiente y desarrollo, 1987). Hay que tener en cuenta para ello, el análisis del ciclo de vida,

aplicación que en muchos países se está teniendo en cuenta como una buena herramienta de gestión medioambiental para la mejora de los productos. Se pueden considerar materiales sanos los que puedan reunir ciertos requisitos, si no todos, de los siguientes criterios (Forum sumando energías, 2003):

1. Materiales con bajo impacto medioambiental en su proceso de fabricación. Para ello debemos considerar no solo la contaminación que produce su elaboración, sino la cantidad y el tipo de energía consumida en el proceso.
2. Materiales renovables y/o reciclables.
3. Materiales que al fin del ciclo de vida produzcan residuos de bajo impacto medioambiental.

Hasta 1997, la falta de un sistema de gestión integrada de los residuos y sobre todo, la inadecuación de los métodos de eliminación de los propios residuos, basados exclusivamente en los vertederos más que en la recuperación de los materiales, ha hecho urgente y necesaria la creación de una nueva normativa, adecuada al estándar europeo, que estableciera objetivos precisos para todos los actores involucrados en el ciclo de vida de los residuos. El análisis del ciclo de vida, es por lo tanto, una herramienta esencial para lograr precios que reflejen los costos. Éste es un análisis “*de la cuna a la tumba*” de los impactos y costos de un producto o servicio dado.

Es recomendable considerar el ciclo de vida completo del producto o servicio brindado por la empresa. Ello evita soluciones incompletas o erróneas que se basan en aumentar la eficiencia en algún estadio del ciclo de vida, disminuyéndola en otras fases (por ejemplo, en la etapa de compra de materias primas). El sistema debe reconocer, por tanto, los temas relacionados con aspectos situados "aguas arriba" (suministradores) como "aguas abajo" (consumidores), en los que tiene impacto la actividad de la empresa (AEMA, 1999).

Conclusiones parciales del análisis bibliográfico.

1. La consulta bibliográfica de los temas abordados en la presente investigación constituyen la base para la aplicación de los conocimientos adquiridos en la identificación y solución de los problemas detectados.
2. La consulta bibliográfica permitió determinar la necesidad y actualidad del tema de investigación propuesto.
3. Las metodologías y técnicas que se usan en el mundo para el uso racional del agua, presentan características similares en los objetivos que persiguen, pero aún no constituyen un sistema integrado de gestión para la valoración total de los sistemas del agua.
4. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión ambiental que brinda una base sólida para la toma de decisiones técnicas adecuadas con base en las cuestiones que podrían plantearse sobre el lanzamiento de un nuevo producto o la modificación de productos existentes, para hacerlos más eficientes en cuanto a su desempeño ambiental, lográndose el desarrollo sostenible y la eco-eficiencia.
5. El procedimiento de cálculo presentado por (Juviel, 2010), es una herramienta viable y de fácil acceso para ser aplicada en las industrias petroleras, con el objetivo de conocer los impactos ambientales de los procesos de refinación.

CAPÍTULO II: DISEÑO METODOLÓGICO

En este capítulo, se presenta el caso de estudio, se diseña la metodología que se seguirá para desarrollar el diagnóstico al proceso de distribución y consumo del agua, dentro del proceso de refinación de petróleo. Además, se presenta la propuesta de mejora que permitirá un uso racional del agua.

1.1 Caracterización del proceso tecnológico de la planta combinada, en la refinería objeto de estudio.

Método: A través del método descriptivo, se caracteriza el proceso de refinación de petróleo de la fábrica objeto de estudio, donde el sistema del agua tiene un papel determinante, para comprender los factores que provocan el excesivo consumo de agua y su impacto ambiental.

Soporte bibliográfico: Se utiliza el análisis bibliográfico desarrollado en el primer capítulo como base para la aplicación de los conocimientos adquiridos en la identificación y solución de los problemas detectados en el diagnóstico. Se utiliza además, el reglamento tecnológico o manual de operaciones de la planta combinada, debidamente respaldado por el Sistema de Calidad de la fábrica objeto de estudio, con el objetivo de explicar el proceso que tiene lugar en la misma. El Anexo 3, es el esquema tecnológico que soporta este epígrafe.

Tamaño de la muestra: Abarca el sistema de distribución y consumo del agua de la planta combinada.

Descripción del proceso a diagnosticar.

La elección de la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos” como objeto de estudio se basa en que se trata de una entidad que genera grandes residuos y consume gran cantidad de materias primas, materiales y recursos humanos, aunque esto no significa que solo se puede aplicar dicha metodología a empresas grandes, sino también a pequeñas. Un segundo elemento que se debe considerar es que está dispuesta a tener un sistema de gestión ambiental (SGA) según Masanet (Masanet, 2000) ya que el sistema de información ambiental generado por el SGA es imprescindible para obtener resultados altamente confiables.

La refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos”, ubicada en la finca Carolina de la ciudad de Cienfuegos, es una de las grandes inversiones que se iniciaron en la década del 80 con la colaboración de la desaparecida Unión Soviética. Su etapa de proyección, micro localización y movimiento de tierra comenzó en el período comprendido de 1977 a 1983. Posteriormente, su construcción y montaje se llevó a cabo en el período de 1983 hasta 1990. En enero de 1991, se realizan las primeras pruebas con carga y se obtuvieron las primeras producciones. A finales de 1993 se concluyó el oleoducto que la enlaza directamente con la termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes.

Después de un largo período de inactividad, el 10 de abril del 2006 se constituye la empresa PDV-CUPET, S.A. refinería “Camilo Cienfuegos”. Contrato capital de los accionistas: 51 % Comercial Cupet SA y 49 % PDVSA Cuba SA.

La denominación de la empresa ha cambiado a raíz de la creación de la empresa CUVENPETROL SA, la cual tiene como misión dirigir todos los proyectos de inversión que se desarrollan en el país en el marco del ALBA (Alternativa Bolivariana para las América). La denominación oficial de esta empresa actualmente es: empresa CUVENPETROL S.A. unidad de negocios refinería de Cienfuegos.

Las principales secciones de la refinería de petróleo Camilo Cienfuegos son:

- Sección 100 (Destilación atmosférica).
- Sección 200 (Reformación catalítica).
- Sección 300 (Hidrofinación de diesel). En proceso de arrancada.
- Sección 400 (Fraccionamiento de gases).
- Sección 600 (Caldera recuperadora).
- Planta MEROX.
- Sección de MAP (movimiento de crudos y productos)
- Sección de Procesos auxiliares
- Sección de PTR (planta de tratamiento de residuales)

La sección 100 es la sección principal de la planta combinada N°1 de la refinería de Cienfuegos, pues en ella ocurre el proceso primario y determinante en cualquier refinería, la destilación atmosférica y que se realiza en dos etapas: la desalación eléctrica y la destilación atmosférica.

2.1.1 Sección 100. Desalación eléctrica.

El agua contenida en el petróleo con sales disueltas en ella, esencialmente con cloruros, no solamente constituye una impureza, sino que provoca una fuerte corrosión en los equipos del proceso y empeora la calidad de los combustibles que son inyectados para los procesos catalíticos, por consiguiente, es imprescindible la eliminación de esas sales y el agua. Ese proceso se realiza en los electrodesidratadores y se denomina desalación eléctrica.

El crudo proveniente de la estación de bombeo de crudo se calienta con los reflujo circulantes de la torre T-102 y el fuel oil, antes de entrar al sistema de desalación eléctrica, que transcurre en dos etapas, cada una con un sistema de lavado con agua.

La primera etapa, cuenta con dos electrodeshidratadores, los cuales trabajan en paralelo. La alimentación a los mismos se realiza a través de eyectores, donde se mezcla el crudo con agua proveniente del sistema de lavado. Las salidas de ambos electrodeshidratadores se unen y pasan a la segunda etapa de desalación. La operación de los electrodeshidratadores de la segunda etapa es similar al de la primera.

En general, para extraer las sales del petróleo, este se mezcla con intensidad con el agua dulce en los eyectores y la emulsión formada entre el agua y el petróleo se destruye y se dispersa en un campo eléctrico de los electrodeshidratadores. Por la parte inferior de los electrodeshidratadores, se drena el agua que contiene las sales, mientras el crudo desalado se extrae a un nivel superior.

2.1.2 Sección 100. Destilación atmosférica.

El crudo desalado se calienta antes de su inyección a la T-101 (Desgasolinadora) en el segundo banco de intercambiadores. Después, el crudo calentado, desalado y deshidratado, a una presión $6,1 \text{ kgf/cm}^2$ se dirige a la torre T-101. La alimentación a la misma se distribuye en varias entradas distribuidas en los platos 7 y 9.

Por el tope de la torre sale la fracción Pie 105°C a una temperatura de 120°C y a una presión de $4,5 \text{ kgf/cm}^2$. Gran parte se condensa en los enfriadores por aire y de allí va al tambor de reflujo del tope D-101 con una temperatura de 55°C . El reflujo es retornado hacia el tope de la Torre T-101. El exceso de reflujo va a los enfriadores y constituye el inyectado a la torre T-104. En este tambor de reflujo se hacen extracciones de agua sulfhídrica que es enfriada y va hacia la planta de tratamiento de residuales.

Desde el fondo de la torre sale crudo desgasolinado, una parte pasa a través de un horno para reinyectarlo por dos corrientes en forma de chorro caliente a la torre T-101, por debajo del plato 1 con el objetivo de mantener la temperatura de trabajo de la columna. El exceso de fondo alimenta a la columna de destilación atmosférica T-102 luego de pasar por un horno que cuenta con tres cámaras para garantizar la temperatura adecuada del inyector.

Por el tope de la Torre T-102 sale la fracción Pie 120 °C a una temperatura de 114 °C y a una presión de 0,7 a 1.0 kgf/cm² y va al tambor de reflujo del tope D-102. Desde el tambor de reflujo el producto va a un enfriador por aire y de allí pasa a un enfriador por agua. Posteriormente retorna al tope de la torre. En el tambor de reflujo se hacen extracciones continuas de agua sulfhídrica con una bomba, esta se descarga a través de un enfriador hacia la planta de tratamiento de residuales.

De la torre T-102, se extraen cuatro cortes laterales:

1. La fracción 120-180 °C, se extrae por los platos 45 y 47 y va a la parte inferior de la primera sección de la torre despojadora T-103, a una temperatura 134 °C. Para despojar las fracciones ligeras, es suministrado al mismo vapor de agua sobrecalentado, la fracción ligera y los vapores de agua que salen del tope de la despojadora entran a la Torre T-102 en el plato 48 a una temperatura de 132 °C. La fracción de fondo es bombeada hacia un enfriador por aire y posteriormente pasa a un intercambiador por agua para finalmente llegar al nudo de mezcla.
2. La fracción 180-230 °C, se extrae de los platos 34 y 36 y va a la parte inferior de la segunda sección de la torre despojadora T-103, a una temperatura 195 °C. Para despojar las fracciones ligeras, es suministrado vapor de agua sobrecalentado. La fracción ligera y los vapores de agua salen del tope de la despojadora y entran a la Torre T-102. Por el fondo la fracción es bombeada hacia un enfriador por aire para finalmente llegar al nudo de mezcla.
3. La Fracción 230-270 °C, se extrae de los platos 22 al 24 y va a la parte inferior de la tercera sección de la torre despojadora T-103, a una temperatura 252 °C. Para despojar las fracciones ligeras, es suministrado vapor de agua sobrecalentado. La fracción ligera y los vapores de agua sale del tope de la despojadora y entran a la Torre T-102. Por el fondo la fracción es bombeada hacia un intercambiador, luego a enfriadores para ir al nudo de mezcla

4. La fracción 270-350 °C, se extrae de los platos 12 al 14. Este corte se divide en dos ramales y va al segundo banco de intercambiadores para ceder calor al crudo desalado.

La torre T-103 cuenta con tres secciones y a cada una de ellas llegan las fracciones desde la torre de destilación atmosférica T-102. Por otro lado la torre estabilizadora T-104 se alimenta con el exceso de gas y reflujo desde el tambor de alimentación D-105. Por el fondo de este tambor D-105 se descarga el agua sulfhídrica hacia la planta de tratamiento de residuales luego de ser enfriada y por el tope los gases son enviados al cabezal de gas combustible.

Por el tope de la torre T-104 sale la fracción Pie 70 °C y pasa al tambor de reflujo del tope D-106. El exceso del reflujo se bombea a un enfriador por agua. Posteriormente, va a la sección 400, hacia la torre T-401 o torre fraccionadora. Por el fondo, de la torre T-104 la fracción 70-120 °C estable es recirculada a través de un horno para mantener la temperatura en la torre. La otra salida de fracción 70-120 °C estable por el fondo de la torre va a un intercambiador donde precalienta el inyector y luego es enfriada por aire y agua y se dirige hacia el nudo de mezcla.

Nudo de Mezcla

En el nudo de mezcla se forman las fracciones resultantes de la sección 100. Estas son:

- Fracción 70-180 °C, se forma mezclando el corte 70-120 °C y corte 120-180 °C. A esta fracción se le denomina Nafta de Inyector que va a la sección 200 o al patio de tanque (MAP)
- Fracción 120-230 °C, se forma mezclando el corte 120-180 °C y corte 180-230 °C. A esta fracción se le denomina Turbocombustible que va al patio de tanque (MAP). Constituyendo el inyector a la planta MEROX.
- Fracción 120-270 °C, se forma mezclando el corte 120-180 °C, corte 180-230 °C y corte 230-270 °C. A esta fracción se le denomina Kerosene, que va a al patio de tanque (MAP).
- Fracción 180-350 °C, se forma mezclando el corte 180-230 °C, corte 230-270 °C y corte 270-350 °C. A esta fracción se le denomina Diesel que va a al patio de tanque (MAP), constituyendo el inyector a la sección 300 (Planta Hidrofinadora de Diesel).

- La fracción ≥ 350 °C como mazut o fuel oil se obtiene por el fondo de la T-102, por lo que no va al nudo de mezcla, sino al patio de tanques de MAP, como producto terminado.

Como se ha explicado, tanto para el proceso de desalado como para el trabajo de las diferentes torres se consume una gran cantidad de agua. En el primer caso para el lavado del crudo, mientras en el segundo caso se inyecta en solución con los diferentes químicos, como sustancia de enfriamiento en los intercambiadores y además para el despojamiento de los gases ligeros desde su fase de vapor de agua. A su vez en ambos procesos se generan cantidades considerables de residuales agresivos por el contenido de sales y sulfhídrico.

2.1.3 Sección 200. Reformación catalítica.

Proveniente de la sección 100, la fracción 70-180 °C es alimentada a la etapa de hidrofinación de nafta primero y reformación de nafta después con el objetivo de obtener gasolina de 83 y 90 octanos para la comercialización, además como producto de tope de la torre T-202 se obtiene GLP (gas licuado de petróleo). En este caso por el tambor de reflujo de tope D-201, se drena agua residual con sulfhídrico. Aquí el consumo de agua es menor que en la sección 100.

2.1.4 Sección 300 (Hidrofinación de diesel). En proceso de arrancada.

Proveniente de la sección 100, la fracción 180-350 °C es alimentada a la hidrofinadora de diesel, torres T-301 y T-302 donde ocurre primero un proceso de absorción con una solución de amina y después un proceso de desorción para eliminar del diesel el sulfuro de hidrógeno. Requisito indispensable para la comercialización del producto diesel. En esta sección existe consumo de agua y emisión de residuales. Pero en este estudio no se tiene en cuenta porque la planta está en arrancada y su producción no se ha estabilizado.

2.1.5 Sección 400 (Fraccionamiento de gases).

Proveniente de la sección 100, la fracción Pie-70 °C inestable y la nafta liviana inestable de la sección 200 son alimentadas a la torre T-401 con el objetivo de fraccionar los gases para obtener GLP. Por el tope de la torre salen los gases hasta los enfriadores por aire y de allí al tambor de reflujo D-401, desde este tambor se alimenta el reflujo para mantener la temperatura del tope y el exceso se envía como GLP al patio de tanques.

Mientras por el fondo de la torre sale el Pie-70 °C estable para formar la gasolina en el nudo de mezcla. Se debe señalar que antes de entrar a la torre T-401 la alimentación es tratada con una solución de sosa cáustica al 10 % de concentración para eliminar de este el contenido de mercaptano y otros compuestos indeseables. Aquí se origina gran cantidad de efluentes alcalinos. Finalmente una vez agotada esa sosa es enviada a PTR para su tratamiento posterior.

2.1.6 Sección 600 (Caldera recuperadora).

Esta sección tiene como objetivo producir vapor de agua para el proceso de destilación, aprovechando el calor residual de los gases de escape de los hornos del proceso. Para ello requiere del consumo de agua tratada proveniente de la planta de tratamiento de agua en la sección de generación de vapor o procesos auxiliares. Como consecuencia de las purgas de este proceso se generan residuales y no son aprovechados los condensados, con la correspondiente pérdida de químicos y energía.

2.1.7 Planta MEROX.

En esta planta es procesado el keroseno para la producción de combustible para aviación, el cual requiere la utilización de un proceso en etapas continuas de tratamiento con el objetivo de satisfacer en particular las especificaciones de acidez, contenido de mercaptano y de otros parámetros entre los cuales está la presencia de agua libre y de los sólidos en suspensión.

El combustible para aviación debe satisfacer otros requisitos como el contenido máximo de aromáticos, el punto de congelación, el punto de humo, el color y el WSIM, estando este último relacionado al contenido de agua libre.

El tratamiento cáustico del keroseno tiene efecto solo en lo referente a la separación de los ácidos nafténicos para obtener un número de acidez adecuado y para servir como vehículo para la oxidación catalítica de los mercaptanos de manera de satisfacer los parámetros previstos.

Este tipo de tratamiento requiere del consumo de mucha agua a la vez que genera gran cantidad de residuales, como la sosa agotada con apreciable formación de fenolatos de sodio muy difíciles de eliminar en la planta de tratamiento de residuales.

2.1.8 Sección de procesos auxiliares.

En esta sección se centra el mayor consumidor individual de la refinería, tanto de energía como de agua. Para su proceso el volumen de agua a consumir es muy elevado y está separado por procesos, pues primero existe una planta de tratamiento de agua para alimentar las calderas, con su correspondiente consumo de químicos y energía. Se debe destacar que esta planta prepara el agua para suministrar a la caldera recuperadora para la producción de vapor y además para la preparación de otras soluciones que son usadas en el proceso de refinación, tales como sosa cáustica, solución de aminas, desemulsionantes, preparación de inhibidores de la corrosión, etc.

Para el proceso posterior de generación de vapor, el consumo de agua y del propio vapor es considerable. El agua en su estado líquido es la materia prima para la producción del vapor, sin embargo también es usada como sustancia de enfriamiento en intercambiadores del propio sector energético. Pero desde su fase de vapor es usada por el desareador para eliminar el contenido de aire del agua de proceso.

Producto del sobredimensionamiento de este sistema, del estado técnico de equipos y tuberías y por las purgas del proceso, en esta área se producen muchos residuales y pérdidas en general que atentan contra los índices de consumo.

2.1.9 Sección de PTR (planta de tratamiento de residuales).

En esta sección se recibe toda el agua que entra a la refinería, así como la que recircula por los dos sistemas de enfriamiento.

Además es la encargada de atender y tratar todos los residuales generados en los diferentes procesos de la refinería. Tiene algún consumo de agua desde su fase de vapor, aunque no es significativo. Sobre esta planta recaen los mayores gastos medioambientales.

1.2 Diseño de metodología de diagnóstico y determinación de costos medioambientales del sistema del agua.

Método: A través del método descriptivo, se presentan las diferentes herramientas y métodos que serán incluidos en esta metodología. Se presenta en forma de tabla, por pasos y actividades la metodología de diagnóstico.

Soporte bibliográfico: El estudio bibliográfico realizado sirvió como soporte para diseñar la metodología de diagnóstico, mientras para determinar el impacto ambiental

del proceso del agua, dentro del proceso de refinación de petróleo, se utilizan los procedimientos de cálculos consultados.

Tamaño de la muestra: La muestra abarca todo el proceso de refinación, incluido la planta de tratamiento de residuales, donde el agua tiene una gran incidencia.

1.2.1 Metodología de diagnóstico.

Las organizaciones son tan eficaces y eficientes como lo son sus procesos. La mayoría han tomado conciencia de esto y por las normas ISO y EFQM se plantean cómo mejorar los procesos y evitar algunos males habituales como: bajo rendimiento de los procesos, poco enfoque al cliente, poca aplicación de metodologías de diagnóstico, subprocesos inútiles debido a la falta de visión global del proceso, falta de criterios para uso y reuso de materiales, pocos controles en la relación proceso-medioambiente, entre otras. En tal sentido, es importante sentar las bases para la simplificación y optimización de aquellos procesos que mediante la mejora de su operación, contribuyan al logro de los objetivos de la organización.

Un proceso puede ser definido como un conjunto de actividades interrelacionadas entre sí que, a partir de una o varias entradas de materiales o información, dan lugar a una o varias salidas también de materiales o información con valor añadido. En otras palabras, es la manera en la que se hacen las cosas en la organización.

El mejoramiento de un proceso se realiza con el propósito de incidir de manera significativa en la reorientación y/o mejora del mismo. Se busca un mejor y más eficiente esquema de trabajo con resultados trascendentes que permitan iniciar un cambio en la forma de administrar los recursos.

Al analizar un proceso tecnológico se atienden las áreas de oportunidades vitales. Las acciones de mejora que se generan a partir de este análisis, están encaminadas a modificar los métodos y procedimientos de trabajo actuales. Con ellas se obtendrá el mayor beneficio, al menor costo para la organización, con impactos significativos en la mejora del medio ambiente y en la seguridad de los trabajadores.

La entidad objeto de estudio define el consumo de agua como unos de sus procesos logísticos. En tal sentido, es objetivo del presente trabajo diseñar una metodología que permita desarrollar un adecuado diagnóstico del mencionado proceso.

La propuesta de la metodología para ejecutar el diagnóstico al proceso de distribución y consumo de agua en la refinería de petróleo descrito en el epígrafe anterior toma como

base de referencia los aspectos teóricos acerca del desempeño de un proceso y los resultados de investigaciones precedentes. La metodología plantea tres etapas, cada una con un objetivo específico, sus pasos y las técnicas que se deben utilizar para desarrollar esta metodología. Como se presenta en la **Tabla 2.1**, para obtener la información, se aplicarán simultáneamente y de manera combinada las técnicas referenciadas a los trabajadores seleccionados de manera aleatoria.

En la siguiente tabla, se muestran las etapas de la metodología.

Tabla 2.1 Etapas, pasos y técnicas de la metodología propuesta.

Etapas	Pasos	Técnicas
I. Identificación	1.1 Creación del equipo de trabajo 1.2 Preparación de los trabajadores participantes 1.3 División del proceso en actividades 1.4 Aplicación de las técnicas de búsqueda de información.	1. Tormenta o lluvia de ideas. 2. Observación 3. Entrevista 4. Trabajo de grupo 5. Revisión documental
II. Procesamiento y análisis de la información. Presentación del informe del diagnóstico.	2.1 Trabajo en equipo de los trabajadores, técnicos seleccionados y el autor de la investigación. 2.2. Detectar problemas y causas 2.3 Presentación del informe a la gerencia.	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis documental • Diagrama causa-efecto • Diagrama de Pareto. • Diagrama Consumo Vs Producción • Gráfico de Tendencia y de Correlación • Selección ponderada • Balance de masa (agua) • Análisis del ciclo de vida del producto. • Determinación de los costos medioambientales.
III. Presentación de la propuesta de mejora y toma de decisiones	3.1 Presentación de propuestas o alternativas de mejora.	1. Trabajo de grupo 2. Evaluación Técnica de la propuesta de mejora

2.2.1.1 Etapa I: Identificación.

Esta etapa tiene como objetivo la creación del equipo de trabajo, su preparación y obtener toda la información necesaria para la ejecución de la investigación y el cumplimiento satisfactorio de los objetivos previstos. La base del trabajo radica en

dividir el proceso en actividades y luego buscar las insuficiencias y eliminar las que no agregan valor al mismo. Se debe destacar que en esta etapa se abordará además el tema medioambiental para definir el impacto del proceso, tanto cualitativa como cuantitativamente.

La capacitación está dirigida en lo fundamental a la aplicación correcta de las técnicas de búsqueda y análisis de información así como la búsqueda de soluciones. El proceso de instrucción se desarrolla de manera individual con cada trabajador, con una explicación detallada de los objetivos que se persiguen con el trabajo y se aclaran todas las dudas que se presenten haciendo énfasis en el empleo de las herramientas seleccionadas.

A continuación, se describen los objetivos de cada técnica y su algoritmo de aplicación:

Herramientas para el diagnóstico.

Para el desarrollo del diagnóstico, se utilizarán las herramientas que a continuación se detallan.

1. Tormenta de Ideas (Brainstorming).

La lluvia de ideas (Brainstorming) es una técnica de grupo para generar ideas originales en un ambiente relajado. Esta herramienta fue creada en el año 1941 por Alex Osborne, cuando su búsqueda de ideas creativas resultó en un proceso interactivo de grupo no estructurado de "lluvia de ideas". Se demostró que este procedimiento generaba más y mejores ideas que las que los individuos podían producir trabajando de forma independiente.

Algoritmo para su utilización:

Cuándo se utiliza:

Se deberá utilizar la lluvia de ideas cuando exista la necesidad de:

1. Liberar la creatividad de los equipos
2. Generar un número extenso de ideas
3. Involucrar a todos en el proceso
4. Identificar oportunidades para mejorar

Cómo se utiliza:

No estructurada (flujo libre)

- Escoger a alguien para que sea el facilitador y apunte las ideas.
- Escribir en un rotafolio o en un tablero una frase que represente el problema y el asunto de discusión.
- Escribir cada idea en el menor número de palabras posible. Verificar con la persona que hizo la contribución cuando se esté repitiendo la idea. No interpretar o cambiar las ideas.
- Fomentar la creatividad. Construir sobre las ideas de otros. Los miembros del grupo de lluvia de ideas y el facilitador nunca deben criticar las ideas.
- Revisar la lista para verificar su comprensión.
- Eliminar las duplicaciones, problemas no importantes y aspectos no negociables. Llegar a un consenso sobre los problemas que parecen redundantes o no importantes.

Estructurada (en círculo): Tiene las mismas metas que la lluvia de ideas no estructurada. La diferencia consiste en que cada miembro del equipo presenta sus ideas en un formato ordenado, por ejemplo, de izquierda a derecha. No hay problema si un miembro del equipo cede su turno si no tiene una idea en ese instante.

Silenciosa (lluvia de ideas escritas): Es similar a la lluvia de ideas, los participantes piensan las ideas pero registran en papel sus ideas en silencio. Cada participante pone su hoja en la mesa y la cambia por otra hoja de papel. Este proceso continúa por cerca de 30 minutos y permite a los participantes construir sobre las ideas de otros y evitar conflictos o intimidaciones por parte de los miembros dominantes.

2. La Observación.

Es otra técnica útil que consiste en observar a las personas cuando efectúan su trabajo. Como técnica de investigación, la observación tiene amplia aceptación científica. Su propósito es múltiple: permite determinar qué se está haciendo, cómo se está haciendo, quién lo hace, cuándo se lleva a cabo, cuánto tiempo toma, dónde se hace y por qué se hace.

Preparación para la observación

- Determinar y definir lo que se va a observar. Elaborar una guía de observación.
- Estimar el tiempo necesario de observación.
- Obtener la autorización de la gerencia para llevar a cabo la observación.

- Explicar a las personas que van a ser observadas lo que se va a hacer y las razones para ello.

Conducción de la observación

- Familiarizarse con los componentes físicos del área inmediata de observación.
- Mientras se observa, medir el tiempo en forma periódica.
- Anotar lo que se observa lo más específicamente posible, evitando las generalidades y las descripciones vagas.
- Si se está en contacto con las personas observadas, es necesario abstenerse de hacer comentarios cualitativos o que impliquen un juicio de valores.
- Observar las reglas de cortesía y seguridad.

3. La Entrevista.

La entrevista se utiliza para recabar información en forma verbal, a través de preguntas que propone el analista. Quienes responden pueden ser directivos o trabajadores, los cuales son usuarios actuales del sistema existente, usuarios potenciales del sistema propuesto o aquellos que proporcionarán datos o serán afectados por la aplicación propuesta. El analista puede entrevistar al personal en forma individual o en grupos.

Dentro de una organización, la entrevista es la técnica más significativa y productiva de que dispone el analista para recabar datos. En otras palabras, la entrevista es un intercambio de información que se efectúa cara a cara. Es un canal de comunicación entre el analista y la organización; sirve para obtener información acerca de las necesidades y la manera de satisfacerlas, así como consejo y comprensión por parte del usuario para toda idea o método nuevo. Por otra parte, la entrevista ofrece al analista una excelente oportunidad para establecer una corriente de simpatía con el personal usuario, lo cual es fundamental en el transcurso del estudio.

2.2.1.2 Etapa II: Procesamiento y análisis de la información. Presentación del informe del diagnóstico.

El objetivo de la etapa es el análisis de toda la información recopilada de manera tal que se puedan detectar las causas fundamentales que provocan el desvío de los indicadores del proceso, apoyado en las técnicas previstas. En esta metodología, el autor del trabajo propone las siguientes herramientas generales y algunas herramientas específicas.

Herramientas generales.

a) Diagrama causa – efecto o diagrama de Ishikawa.

Esta herramienta representa, de una forma ordenada, todos los factores causales que pueden originar un efecto específico. Para su desarrollo deben realizarse los cinco pasos requeridos para el análisis de la causa.

1. Definir el efecto. Este debe ser claro, preciso y medible.
2. Identificar las causas. Mediante una lluvia de ideas con el personal que puede aportarlas.
3. Definir las principales familias de causas. Agrupar las causas y subcausas.
4. Trazar el diagrama. Se traza la línea central y las que representan las causas principales.
5. Seleccionar la causa. Concluido el diagrama se obtienen todas las posibles causas y mediante una selección ponderada se determinan las de mayor importancia.

Después de trazar la línea central y agrupar las causas y subcausas, entonces se aplica la selección ponderada descrita posteriormente para seleccionar la causa fundamental que impide un mejor aprovechamiento de este recurso.

b) Diagrama de Pareto.

Esta herramienta se selecciona porque permite observar de forma muy clara dónde se encuentran las potencialidades de mayor eficiencia y predice o determina la efectividad de una mejora.

La utilidad del Diagrama de Pareto es:

- Identificar y concentrar los esfuerzos en los puntos claves de un problema o fenómeno como puede ser los mayores consumidores de agua, las mayores pérdidas de agua o los mayores costos del recurso agua.
- Predecir la efectividad de una mejora al conocer la influencia de la disminución de un efecto al reducir la barra de la causa principal que lo produce.
- Determinar la efectividad de una mejora comparando los diagramas de Pareto anterior y posterior a la mejora.

Para poder identificar los dispositivos de mayor consumo del recurso, se recomienda hacerlo de la siguiente forma:

1. Pareto general de los costos del recurso agua y otros costos energéticos de la industria.

2. Pareto de los consumos del recurso agua por departamento o área de la industria.
3. Pareto por dispositivos consumidores del recurso agua.

c) Diagrama de consumo vs producción.

Con la aplicación de esta herramienta al proceso general del agua, se podrá analizar el comportamiento de su consumo respecto a la refinación del petróleo en el tiempo, para lo cual se trazará un gráfico de consumo contra producción en el período analizado.

d) Diagrama de dispersión: Este diagrama permite relacionar los consumos de agua referidos a la producción. En ellos se puede determinar la tendencia de ambos parámetros y determinar su correlación. Además, se podrá hacer un análisis de dicho comportamiento referido a la norma nacional.

Los gráficos de tendencia y de correlación pueden acercar el análisis a las condiciones reales de operación de la fábrica.

e) Técnica de votación ponderada (*Multivoting*)

En esta etapa, una vez detectadas las causas que provocan el excesivo consumo de agua, mediante la técnica de votación ponderada, se procede a la determinación de la causa fundamental que genera dicha ineficiencia y sobre esa base se podrán generar varias alternativas de solución que contribuyan a un mejor funcionamiento del proceso. La Selección ponderada es una herramienta utilizada para la toma de decisión en base a factores cualitativos o a múltiples factores no homogéneos que intervienen en un suceso.

Pasos o algoritmo para desarrollar la votación ponderada.

Paso 1: Listar el conjunto de factores sobre el que ha de tomarse la decisión.

1. Escribir a la vista de todos los participantes la decisión a tomar.
2. Listar todos los factores o hechos entre los que se quiere encontrar un factor o conjunto de factores prioritarios, atendiendo a la decisión a tomar.

Paso 2: Identificar el criterio de priorización o selección.

- a) Definir el criterio básico que todos los participantes deben utilizar para evaluar cada factor.
- b) Escribir el criterio a la vista de todos los participantes

Paso 3: Definir el sistema de puntuación que se va a utilizar.

Se tendrán en cuenta dos aspectos:

- a) Número de factores que van a puntuar del total.

- b) Puntos que se otorgarán a cada factor.
- c) Priorización simple: Se evalúan correlativamente desde el 1 al número de factores que se van a puntuar.
- d) Priorización destacada: Se evalúan de forma no correlativa los diferentes factores para destacar los más valorados.

Paso 4: Puntuar los factores de forma personal.

- Cada participante debe evaluar de forma personal, sin conocer las puntuaciones del resto del grupo.

Paso 5: Construir la tabla de puntuación e incluir las puntuaciones personales.

- Dibujar la tabla de puntuación a la vista de todos los participantes.
- Incluir las puntuaciones de cada participante.

Paso 6: Determinar los valores cuantitativos para la toma de decisión.

- Sumar las puntuaciones otorgadas a cada factor (casilla suma).
- Obtener el número de personas que ha puntuado a cada factor (casilla frecuencia puntuación)

Paso 7: Determinar el orden de prioridad.

- Criterio principal.- El factor más importante es el que obtiene una puntuación más alta.
- Criterio secundario.- En caso de que dos factores obtengan igual puntuación, el factor más importante es el que haya sido puntuado por más participantes (frecuencia de puntuación mayor).

Posibles problemas y deficiencias en la interpretación:

Las herramientas de selección proporcionan pautas para tomar decisiones. La aceptación de dichas decisiones dependerá de la capacidad de valoración de los componentes del grupo y del seguimiento de la metodología propuesta.

- La priorización o selección de decisiones no será adecuada cuando los componentes del grupo no dispongan de la información necesaria para evaluar los factores de selección.
- Así mismo, la priorización o selección estará sesgada cuando alguno de los componentes del grupo evalúe los factores atendiendo a criterios diferentes de los seleccionados.

Herramientas específicas.

Para hacer una adecuada gestión del agua en la industria se debe considerar un conjunto de herramientas más particulares a cada industria. A continuación, se muestra una de las más útiles para la gestión del agua.

a) Balance de materiales.

Esta herramienta (Balance de agua en la instalación) es fundamental para hacer el diagnóstico, compatibilización, contabilización y análisis de datos, ya que suministra los datos de consumo de agua por sección, si es necesario, por equipo. No está de más decir que es de vital importancia tener tantos medidores como sea necesario, y aún más, tenerlos en los lugares correctos.

b) Creación del enfoque de ciclo de vida del producto.

Una singular forma para observar cómo se mueve el producto o materia prima, con sus principales componentes y por supuesto, su disposición final en la entidad, se puede ver en la figura 3.1. En ella se pueden seguir los aspectos relevantes medioambientales hasta el final de su vida y se mantienen los elementos que se necesitaron en la definición del ciclo de vida, con entradas y salidas para la generación del balance de materiales y los lugares de disposición de los principales desechos y/o desperdicios.

Los destinos de los desechos, desperdicios y agua residual son aspectos relevantes, ya que todos los elementos que se relacionan desde que surge el desecho o desperdicio, hasta su disposición dentro o fuera de la entidad son gastos y al final, costos relacionados con la actividad medioambiental.

Y gracias al balance de materiales se relacionan cantidades físicas y monetarias, por desechos y desperdicios, así como agua residual, para cada uno de los destinos. Esto permite la búsqueda de tasas de aplicación y el prorrateo de costos y gastos generales.

Cuando se está en presencia de costos conjuntos, como consecuencia de los procesos continuos de transformación de una materia prima en diferentes productos terminados, que surgen en puntos de separación intermedios, dificulta la determinación de la cantidad de desecho, desperdicio, emisión o agua residual que le corresponde a cada producto terminado. Para este fin se realiza un análisis determinando, según las salidas de impacto ambiental por procesos, cuáles son los productos que deben asumir esas emisiones. Luego se prorratea sobre la base de la producción total de cada producto en el mes. A pesar que este método es una solución para poder distribuir las emisiones y desechos por productos, se reconoce que aún no es la más objetiva.

- **Determinación de los costos medioambientales potenciales generados según medios y categorías medioambientales.**

Las empresas deben preguntarse la cantidad y valor de los insumos perdidos en forma de desechos, el verdadero costo de la administración de los desechos y los costos relativos a seguros medioambientales, pasivos contingentes y costos probables de regulaciones futuras (Scavone, 2006)

Una forma que ayuda a identificar los costos relacionados con la problemática medioambiental es la metodología de *Environmental Management Accounting Procedures and Principles de la Dr. Christine Jasch del Institute for environmental management and economics Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, IÖW, Wien*, (ver Anexo 5), donde se establecen listas de chequeos fundamentales para la búsqueda de los elementos relacionados con el medio ambiente.

- **Fórmulas necesarias para la estimación de los costos medioambientales.**

Cuando se decide determinar alguno de los costos o gastos medioambientales, el principal problema se encuentra al asignar qué parte del costo o gasto corresponde a cada producto. Para esto se definen dos pasos fundamentales (López, 2009) y (León, 2009):

Primer paso:

Cálculo del costo o gasto total relacionado con la actividad medioambiental

- Para determinar los costos directos por la pérdida de material, se establece la conformación del ciclo de vida del producto y se elabora el balance de materiales, donde se reflejan en unidades físicas y monetarias estas pérdidas y se deben relacionar con el destino que les corresponde.
- En los demás costos y/o gastos, podemos encontrar dos particularidades:
 1. Costos y gastos incurridos directamente en la actividad medioambiental, o sea, el elemento de costo o gasto está definido para uso exclusivo de la empresa para tratar, reciclar, prevenir, limpiar desechos y/o desperdicios y emisiones. El monto del valor es puro costo medioambiental.
 2. Costos y gastos generales: dentro de estas cuentas se encuentran partes del monto que fueron utilizadas para tratar, reciclar, prevenir, limpiar desechos y/o desperdicios pero que no se encuentran delimitadas. Para poder delimitar este

valor, hay que hallar una razón (división) sobre un elemento en común para la actividad medioambiental y para la actividad productiva o financiera (por ejemplo, horas trabajadas, kg de algún elemento, metros, u otros aspectos relacionados con los desechos y/o desperdicios), de esta forma se determina la tasa de aplicación de la base seleccionada. Luego conociendo esta base para la actividad medioambiental, se multiplica y el resultado es el monto de ese costo o gasto incurrido relativo con el medio ambiente.

Segundo paso:

Cálculo del costo o gasto económico medioambiental específico para un producto definido en el ciclo de vida del producto (Juviel, 2010).

En este paso, se declara la determinación de la tasa de aplicación del gasto por una base común para todos los productos que se han realizado y luego la multiplicación de este valor por el elemento físico determinado del producto seleccionado. Para una mejor comprensión se presentan las siguientes fórmulas:

$$\text{Tasa de aplicación del gasto o costo} = \frac{\text{Gasto o costo relacionado con la actividad ambiental}}{\text{Base común física total}} \quad (2.1)$$

$$\text{Costo económico medioambiental interno} = (X * Y) \quad (2.2)$$

Donde:

X: Tasa de aplicación del gasto o costo.

Y: Base física específica del producto o servicio seleccionado para el análisis.

2.2.1.3 Etapa III: Presentación de la propuesta de mejora y toma de decisiones

El objetivo de esta etapa es permitir que el equipo tome las decisiones que tributen de forma más directa a minimizar el consumo de agua, o sea mejorar el proceso del agua y para esto se hará un análisis de las diferentes propuestas de posibles ahorros, tomando como base fundamental los conocimientos y experiencias de operadores y especialistas, siempre teniendo en cuenta la filosofía del mejoramiento continuo.

Como variante de consideración se hará una propuesta de mejora evaluada técnica y económicamente, lo que facilitará la mejor toma de decisiones.

Finalmente el equipo de trabajo presentará el informe a la dirección de la refinería, y este deberá ser discutido y aprobado por todos los trabajadores, con el fin de que todos sean partícipes del proceso de uso racional del agua, que ganen en cultura de ahorro y de ser posible se podrá establecer un sistema de estimulación por brigadas, que contribuya a lograr los objetivos trazados.

1.3 Presentación de la propuesta de mejora que contribuya al logro de la racionalidad en el consumo de agua.

Método: Mediante el método descriptivo, se presenta la justificación técnica de la propuesta de mejora, para lo cual se tiene en cuenta las condiciones de diseño del sistema y las experiencias acumuladas durante su explotación.

Soporte bibliográfico: Se utiliza el reglamento tecnológico de la sección 600, caldera recuperadora (DK-600) que constituye el manual de operaciones de dicha sección. Para la evaluación económica se trabaja con (Torres, 1991) y se consultó el texto básico del doctorado de termoeconomía, (Valero, A. y Torres, C, 2010), (Torres, C. Valero, A., Serra, L., Royo, J., 1999), (Lapido, M. y col, 2006).

Tamaño de la muestra: Abarca la sección 600 o caldera recuperadora (DK-600).

2.3.1 Presentación de la propuesta de mejora.

Para presentar y fundamentar la propuesta de mejora se tiene en cuenta la experiencia de trabajo acumulada en la planta combinada, las consultas técnicas realizadas al departamento técnico de la empresa y la revisión económica practicada en el departamento económico de la industria.

En este caso se conoce que la capacidad de producción de vapor en la caldera recuperadora es suficiente para los diferentes procesos de refinación que se llevan a cabo en el actual esquema tecnológico de esta empresa, por tanto el autor de este trabajo presenta como propuesta de mejora la posible explotación al máximo de la caldera recuperadora como única productora de vapor, para los procesos industriales.

Esta propuesta se basa en las siguientes consideraciones:

- Suficiente entrega de vapor por la caldera recuperadora (diseñada para 25 t/h y el consumo operacional no sobrepasa las 20 t/h).

- Menor impacto ambiental por dos razones, primero porque dicha recuperadora no consume combustible alguno para su proceso, no existe entonces residuo de combustión; segundo los gases de escape de los hornos ceden su calor al agua para convertirla en vapor, por consiguiente son expulsados por la chimenea con menor temperatura.
- Menor consumo eléctrico pues son menos las bombas que intervienen en el proceso.
- Menores pérdidas por condensación pues las distancias de las tuberías de distribución son más cortas.

Para justificar económicamente la propuesta se realizará un análisis termoeconómico siguiendo la metodología de cálculo estudiada durante el programa doctoral de transformaciones energéticas.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE ESTRATEGIA PARA USO RACIONAL DEL AGUA EN EL PROCESO DE REFINACIÓN DE PETRÓLEO.

En este capítulo, se presentan los resultados que se obtienen al aplicar la metodología de diagnóstico presentada en el capítulo II, se calcula el impacto ambiental por los diferentes productos y como estrategia para lograr un uso racional del agua se presenta y avala económicamente la propuesta de mejora, consistente en la explotación al 100 % de su capacidad de diseño la caldera recuperadora DK-600.

3.1 Diagnóstico del proceso de consumo de agua.

El proceso de distribución y consumo de agua dentro del proceso de refinación de petróleo, como se describió en el capítulo, anterior desempeña un papel fundamental en el logro de los objetivos del esquema tecnológico de la organización. En tal sentido, es importante encontrar reservas que permitan su mejoramiento continuo. Para ello, se realiza un diagnóstico general del proceso con la ayuda de un conjunto de herramientas que facilitan detectar aquellas insuficiencias e irregularidades que existen en el proceso que limitan su buen desempeño.

Para la realización del diagnóstico, el autor de este trabajo dedicó un período de su tiempo a su preparación in situ para enfrentar la tarea. Esto consistió en conocer detalladamente el proceso, los parámetros de diseño, estándares y funcionamiento real.

Para comenzar el estudio sobre el consumo de agua y su impacto medioambiental en la refinería de petróleo, primero se realizó una reunión con el Consejo de Dirección de la empresa donde fueron explicados los objetivos del estudio que se iba a realizar y se recabó la autorización del gerente para el desarrollo del mismo y el acceso a la información. Además, se explicó la metodología diseñada para realizar el diagnóstico, propuesta fue aprobada como documento rector del mismo. En esta reunión, se acordó convocar otra con todos los trabajadores donde se les explicó la necesidad del estudio, los objetivos que se persiguen, la importancia del trabajo y la necesidad de cooperación y participación de todos. Por propuesta de la gerencia, se seleccionaron cinco técnicos

expertos, junto al autor del trabajo, conformaron el equipo de investigación. Se debe destacar que para esta selección, no se tuvieron en cuenta los métodos estadísticos matemáticos conocidos, ya que se intervinieron expertos de la propia organización y fueron invitados a participar todos los que reunían los requisitos de conocimiento sobre el tema.

Según el capítulo anterior, la metodología de diagnóstico diseñada comprende tres etapas para su ejecución. En él, fueron descritas las diferentes etapas, los pasos y principales técnicas aplicadas en cada una de ellas. A continuación, se presentan y analizan los resultados del diagnóstico realizado al sistema del agua, dentro del proceso de refinación de petróleo, con la aplicación de la metodología diseñada:

3.1.1 Primera etapa: Identificación.

Tormenta de ideas: Como acuerdo de la reunión con el consejo de dirección, la reunión de producción con todos los trabajadores se realizó el día martes 7 de febrero de 2012, donde se informó que el estudio se prolongaba por 45 días y en ella, después de la rendición del informe de producción y su respectivo análisis, se llevó a cabo la tormenta o lluvia de ideas referidas al proceso de distribución y consumo de agua. En esta tormenta participaron 36 trabajadores que representan el 84 % del total. Como resultado de esta técnica, se recogen un grupo de ideas que son valoradas por el equipo de investigación, se seleccionan las más viables y se incorporan al cuerpo del informe final del diagnóstico. (**Ver Anexo 4**)

Observación: El período de observación fue acotado por el equipo de investigación para 21 días y en la reunión antes mencionada, se explicó cómo se desarrollaría esa técnica y se estableció una guía de observación que aparece en el **Anexo 5**. Como resultado de esta técnica, se determinó en qué forma, cómo y dónde se consume el agua por las diferentes áreas del proceso, en el siguiente listado se muestran las áreas observadas como mayores consumidoras:

1. Sección 100 de destilación atmosférica.

- Desalado y lavado del crudo.
- Torres de destilación, a través de la inyección de soluciones con reactivos químicos y de vapor de agua.
- Planta de preparación de reactivos.
- Agua para el sistema contra incendio.

2. Sección 200 de reformación catalítica.

- Tratamiento con aminas.
- Agua para el sistema contra incendio.

3. Sección 400 de fraccionamiento de gases.

- Tratamiento cáustico a las naftas.
- Agua para el sistema contra incendio.

4. Sección 600 de caldera recuperadora.

- Agua y vapor como elementos de trabajo para producir vapor.

5. Planta Merox.

- Tratamiento cáustico al turbojet.

6. Área de generación de vapor.

- Agua y vapor como elementos de trabajo para producir vapor.
- Planta de tratamiento de agua.
- Planta de preparación de sosa cáustica.
- Vapor para el calentamiento de crudo de la caldera.
- Vapor del tanque de condensado.
- Vapor para limpieza de pailas.

Como resultado de esta técnica se, detectaron además varios problemas o deficiencias que se reflejan en el cuerpo de informe final del diagnóstico.

Entrevista: Para la realización de esta técnica, se elaboró un modelo de entrevista que aparece reflejado en el **Anexo 6**. La misma se desarrolló de forma verbal y se hizo una selección aleatoria del personal que sería entrevistado. A cada uno, individualmente se le explicaron los objetivos de la misma y la necesidad de la veracidad de la información. En la selección, se persiguió que ese personal tuviera una relación con el proceso tecnológico, para garantizar la calidad de las respuestas.

Como resultado de la aplicación de esta técnica, fue posible un grupo de valores positivos que demuestran la eficiencia del proceso de la fábrica, pero también un grupo de deficiencias que inciden en el exceso del consumo de agua y por consiguiente, impiden que la fábrica sea más eficiente. Los trabajadores entrevistados fueron 26 que representan el 60 % del total de la plantilla del área de refinación.

Después de recogida toda la información por las técnicas antes señaladas, el equipo de investigación se dedicó a su análisis para tener una clara visión de los principales problemas detectados y poder proponer alguna medida favorable a la solución de los mismos. Para este análisis, se desarrolló la segunda etapa de la metodología propuesta.

3.1.2 Segunda etapa: Análisis de la información.

Con la información recogida en la etapa anterior y la búsqueda de datos estadísticos de la empresa se realiza un profundo análisis del proceso, que debe conducir a la mejor toma de decisiones. En la metodología propuesta, se relacionan varias herramientas generales y el resultado de su aplicación se presenta a continuación:

Diagrama de Ishikawa o Causa-efecto: Para la búsqueda de los causales fundamentales que inciden en el alto consumo de agua se construye el diagrama de Ishikawa o Causa-efecto, según se muestra en la **figura 3.1**.

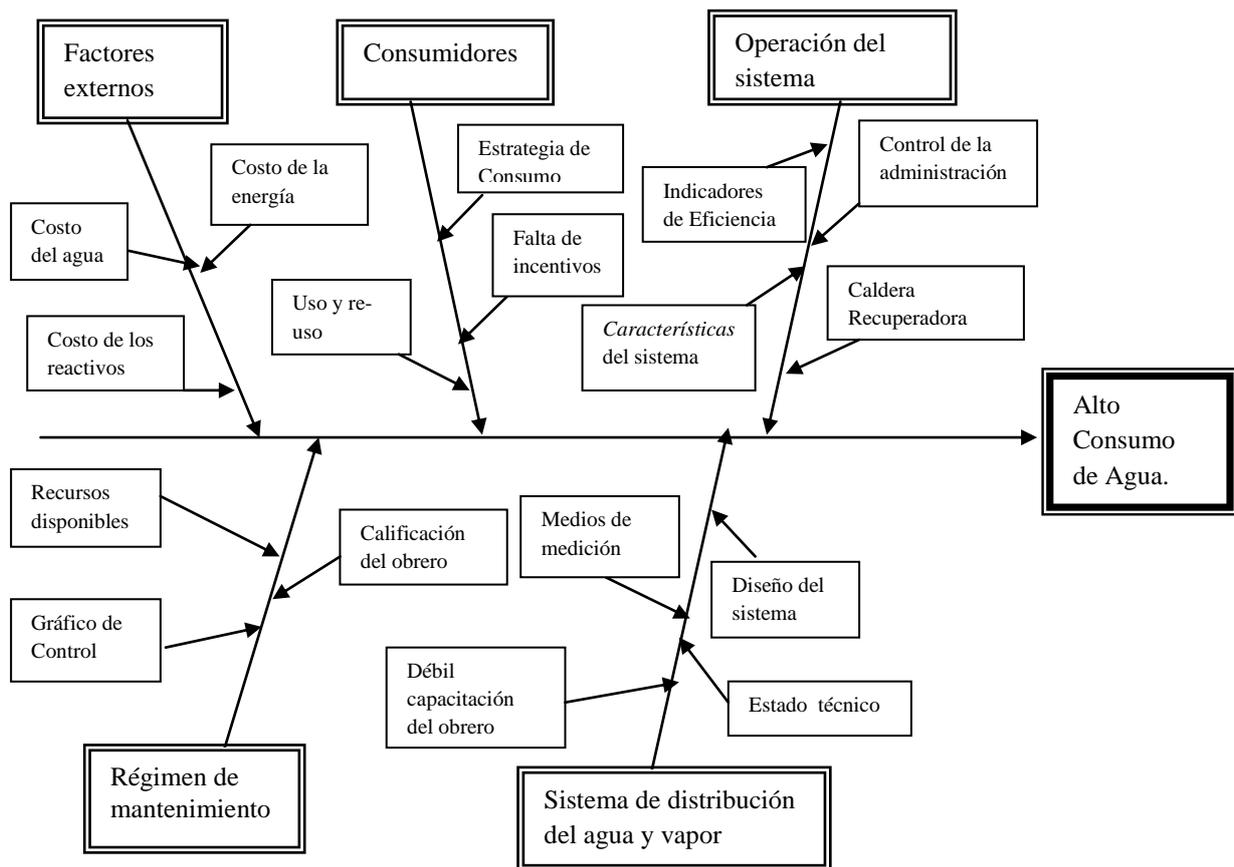


Fig. 3.1 Diagrama causa-efecto del proceso de consumo de agua.

En el desarrollo de esta herramienta, aparecen reflejadas todas las causas que provocan los excesos en el consumo de agua. Estas causas fueron identificadas a través de las técnicas referenciadas para la recolección de información. Sin embargo, las causas “Factores externos” con sus sub-causas no deben incidir decididamente en el consumo y menos aún serán efectivas las medidas correctivas que sobre ellas se tomen. Siendo cuestiones ajenas a la empresa, aun cuando encarecen el proceso del sistema del agua, no es posible de actuar sobre ellas para mitigar su efecto negativo.

La causa “Régimen de mantenimiento” puede tener determinado impacto sobre los consumos por concepto de: inadecuado mantenimiento, por falta de recursos o por mala capacitación del hombre. Sin embargo, se ha podido comprobar durante el período de la observación que no es precisamente una causa de mayor peso, por cuanto: los procesos de mantenimiento tienen un adecuado control tecnológico y una alta prioridad por parte de la gerencia, por tanto: los recursos no son un problema.

Resta entonces centrar el análisis y las acciones en las tres causas restantes y sus respectivas sub-causas. Para esto se aplicaron las técnicas de la metodología de diagnóstico descritas en el capítulo anterior. Con ellas, se podrá realizar un adecuado análisis y para buscar posibles vías de solución, se hace necesario conocer el comportamiento de dicho consumo por áreas y equipos a fin de establecer prioridades de solución.

Diagrama de Pareto: Para determinar dónde deben recaer las prioridades de análisis, se recomienda establecer el diagrama de Pareto, comenzando el análisis por los costos energéticos para cada uno de los procesos que reciben el servicio del sistema de agua. De esta forma, se podrá conocer cómo inciden esos consumos en la economía de la empresa, o lo que es lo mismo, cómo influyen en su competitividad.

Con el análisis de este gráfico de Pareto para los costos energéticos, se puede apreciar que no queda bien definido al 20 % de los procesos que incurren en el 80 % de los costos. Esto se debe a que todos los procesos por productos para esta refinería consumen en magnitudes similares, pues los equipos que intervienen en el proceso son semejantes en cuanto a sus capacidades, por lo que de conjunto representan el mayor consumo.

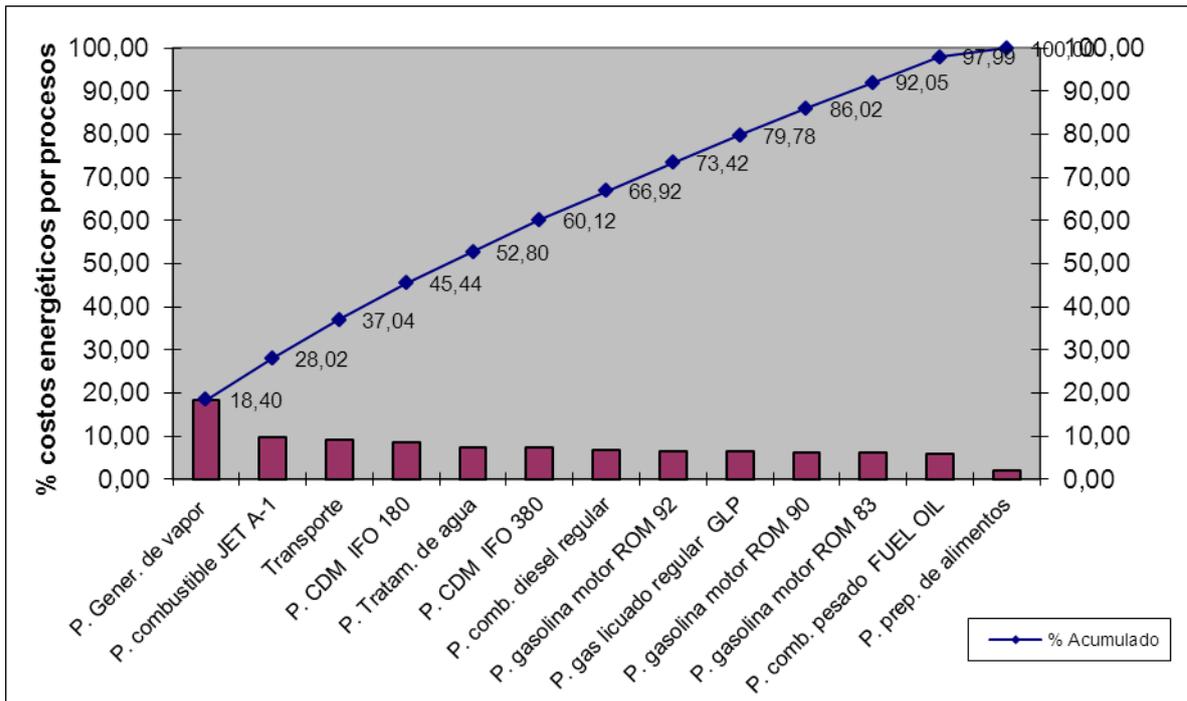


Fig. 3.2 Distribución de los costos energéticos por procesos, Año 2011.

Sin embargo, durante la observación practicada a la planta, se pudo verificar que de los procesos identificados en la empresa que reciben el servicio del agua, uno de los que tiene mayor impacto sobre los costos del consumo de energía es el proceso de generación de Vapor. Este representa el 18.40 %, como se puede observar en las figuras 3.2 y 3.3 donde se muestra los costos energéticos de la empresa en el año 2011. Entonces, sobre la generación de vapor recaen los mayores costos. Para esta representación, se tuvieron en cuenta los por cientos de participación en los costos energéticos generales. De tal manera, no resulta del todo comprensible su análisis. Por ende, fue necesario la elaboración de un gráfico de pastel que permitió un análisis más completo.

Este mayor impacto coincide con lo reportado en la literatura consultada sobre el tema, pues generalmente los procesos de generación de vapor, dentro de cualquier empresa, son los mayores consumidores por áreas.

Al realizar el análisis de este gráfico, se aprecia el mayor costo para el área de generación de vapor y conociendo las particularidades del proceso, se puede determinar cuánto más caro resulta la generación del vapor en el área de calderas, pues a su costo energético se debe añadir el costo energético del tratamiento de agua de alimentar que representa el 7.36 %, o sea, de conjunto, suman el 25.76 %.

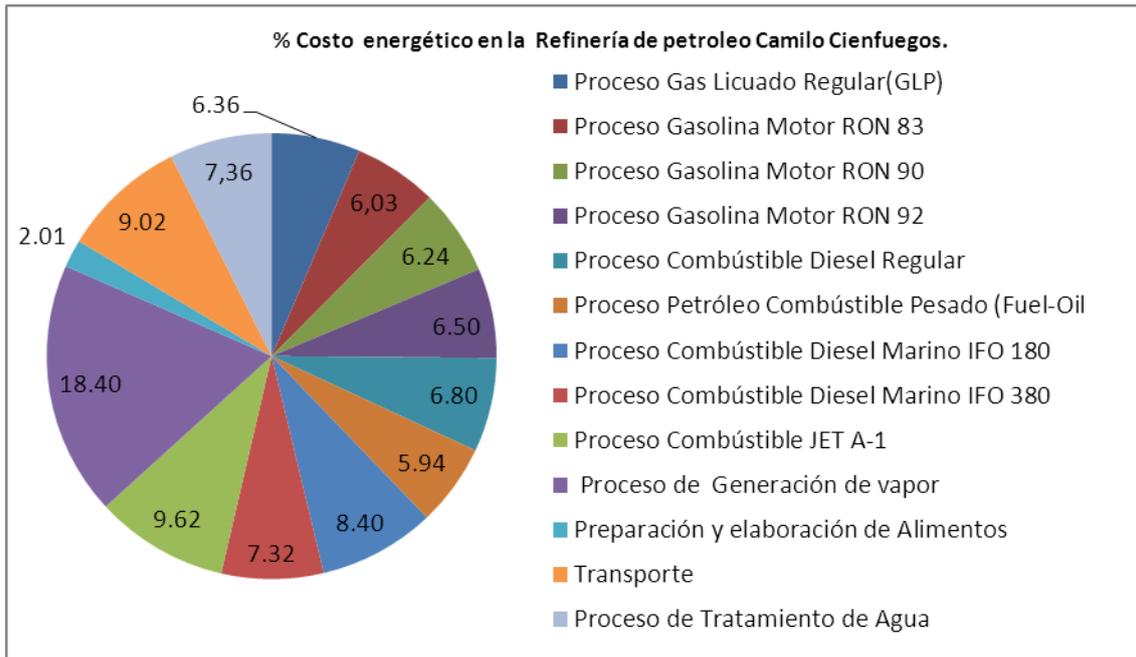


Fig. 3.3 Gráfico de pastel para la distribución de los costos por proceso. Reporte anual de costos de la dirección de economía de la empresa.

El proceso de tratamiento de agua además incurre en excesivo gasto de agua con su respectivo costo como recurso (aunque no fue contabilizado, aquí también existe un elevado consumo de energía para su bombeo y distribución) y de químicos para su tratamiento. Lo cual genera, por consiguiente, un considerable impacto ambiental. Sin embargo, queda claro que en la empresa no se contabilizan los costos medioambientales, pues no aparecen dentro de los costos reportados y analizados. Esto hace evidente la importancia del cálculo de los mismos y su análisis posterior. Es necesario señalar que en este caso, solo se refiere al tratamiento de agua para alimentar calderas y no al tratamiento de agua como residuales.

El agua para uso tecnológico, se suaviza en la planta de tratamiento, siendo suministrada a las calderas para la generación de vapor y para otras facilidades de intercambio y calentamiento de los productos en el proceso de refinación, así como para la preparación de los distintos químicos que son usados en el proceso de refinación.

Como es lógico respecto al volumen, el consumo mayor de agua se centra en los diferentes procesos de refinación en su conjunto, aunque no se conoce con cuanta

eficiencia se utiliza ese recurso. No obstante de forma particular corresponde al sistema de generación de vapor un análisis casuístico y detallado del mismo.

Se pudo conocer que para su funcionamiento, las calderas consumen fuel oíl producido en el mismo proceso de refinación con un bajo valor agregado, pues constituye el residual de fondo de la torre de destilación atmosférica. Sin embargo, en la mayoría de los casos, dichas calderas procesan consumiendo gas residual de la red de gas combustible, evitando consigo su emanación al medio. No obstante, este es un producto residual sin valor agregado, por consiguiente, sigue siendo el agua el elemento de mayor valor en el proceso de generación de vapor, lo que incide directamente en los costos de producción. Por lo tanto, teniendo en cuenta la importancia que tiene para la empresa un control de todos los procesos que reciben el servicio del agua, se decide realizar el estudio al proceso de generación de vapor. En la siguiente tabla se presenta el comportamiento de los consumos vs producción en ésta área.

Tabla 3.1 Comportamiento del consumo de fuel-oíl y agua vs la cantidad de vapor generado por meses del año 2011

COMPORTAMIENTO DEL CONSUMO DE FUEL-OÍL Y AGUA vs PRODUCCIÓN DE VAPOR, 2011.							
Año	Mes	Producción vapor, (t/mes)	Consumo Total Fuel-oíl, (m³)	Índice consumo de fuel	Consumo de Agua, (m³)	Índice consumo de agua	Índice de generación de vapor (t. vap./m³ de fuel) ≥10.5 fuel
2011	Enero	11782	1104,95	0,09	30031	2,55	10,66
	Febrero	10005	830,60	0,08	29629	2,96	12,05
	Marzo	8183	710,46	0,09	27738	3,39	11,52
	Abril	11822	823,19	0,07	28083	2,38	14,36
	Mayo	10389	810,09	0,08	28109	2,71	12,82
	Junio	9954	825,84	0,08	28446	2,86	12,05
	Julio	10938	869,80	0,08	29348	2,68	12,58
	Agosto	11160	889,94	0,08	30033	2,69	12,54
	Septiembre	11242	881,80	0,08	28103	2,50	12,75
	Octubre	10995	872,23	0,08	25974	2,36	12,61
	Noviembre	10262	792,87	0,08	27361	2,67	12,94
	Diciembre	9072	704,92	0,08	15422	1,70	12,87

En la tabla 3.1, se presenta el comportamiento del consumo de agua y de fuel oíl respecto a la cantidad de vapor generado por meses del año 2011 y se muestra el índice de generación de vapor por cada m³ de fuel oíl consumido. Queda claro que el consumo

de fuel oíl no es significativo en comparación con el del agua. En primer lugar, porque el fuel oíl se sustituye por gas residual de refinación, por lo que disminuyen los costos en este sentido mientras que el costo del agua es alto y su consumo excesivo encarece el proceso.

Durante el período de investigación, por la experiencia acumulada se ha podido constatar cómo se da seguimiento al índice de generación. Por el cumplimiento del mismo se evalúan las brigadas de producción. En cada análisis económico se analiza dicho parámetro, aunque no ocurre lo mismo con el agua. Esto demuestra que se conocen y controlan los consumos energéticos, mientras el agua no es mirada como tal. Por el manual de operaciones tecnológicas, queda establecido como bueno un índice de generación por encima de 10.5 t de vapor por cada m³ de agua.

El gráfico 3.4 muestra la variación simultánea del consumo de agua y fuel-oíl con la generación de vapor realizada en el tiempo, donde un incremento de la generación da lugar a un incremento de los consumos de estos, pero donde el agua tiene la mayor incidencia.

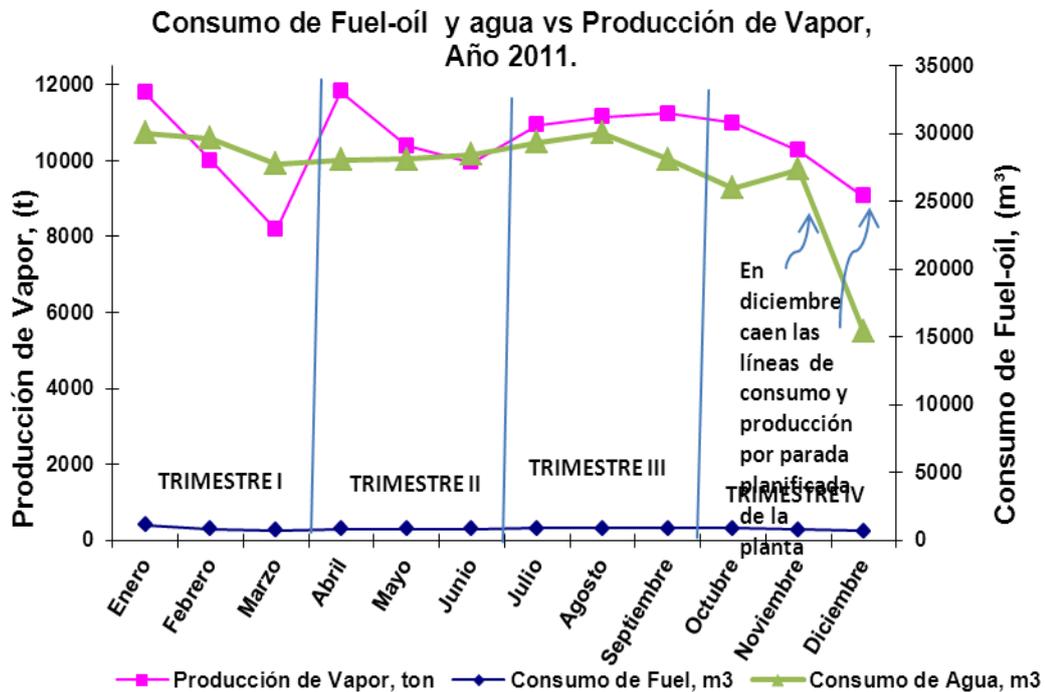


Fig. 3.4 Gráfico de consumo vs producción.

Al comenzar el análisis por el primer trimestre del año 2011, se observa una reducción apreciable de la producción de vapor, mientras el consumo de agua mantiene

aproximadamente el mismo nivel. Esto se justifica por la puesta en marcha de dos plantas del proceso de refinación a inicios del año, sin que este consumo adicional de agua, se corresponda con el proceso de generación de vapor. En el segundo trimestre del año, se observa una producción de vapor inestable, con un incremento considerable en el mes de abril, para caer nuevamente en los meses de mayo y junio, sin embargo, en el tercer trimestre la producción se comportó más estable, aunque con un incremento leve y sostenido, mientras tanto, el consumo de agua se mantuvo en constante crecimiento por cinco meses y cayó bruscamente en los meses de septiembre y octubre, cuando la producción de vapor crecía, por lo resulta fácil comprender que no se correspondan esos niveles de consumo. Es evidente que se manifiestan consumos no asociados a la producción, que están deteriorando los índices de eficiencia. En el análisis del cuarto trimestre del año se puede observar que la producción de vapor va disminuyendo constantemente, por su lado el consumo de agua creció en noviembre y cayó bruscamente, motivado por la parada planificada, para mantenimiento de la refinería en el mes de diciembre.

Se debe resaltar que en la empresa también se genera vapor en la caldera recuperadora, a la cual se le suministran entre 13-15 m³/h de agua, equivalentes a 9360-10800 m³/mes, para entregar entre 8-9 t. vapor/h, o sea, 5760-6480 t. vapor/mes. Pero ni su producción, ni su costo energético, ni su consumo de agua son reflejados en este informe. Es evidente que existe un elevado consumo de agua que no se ha contabilizado.

Diagrama de dispersión, tendencia y correlación: Para conocer el comportamiento de las variables involucradas, es necesario hacer un gráfico de dispersión donde se pueda observar el comportamiento de ambos parámetros, seguir su línea de tendencia y comprobar con una fórmula matemática cuán acertada puede estar la correlación entre ambas variables. El siguiente gráfico muestra el comportamiento correlacional entre las variables índice de consumo de agua vs producción de vapor durante el año 2011. Las ecuaciones obtenidas y la correlación R^2 muestran cuán desacertadas están ambas variables pues el grado de correlación de 0.0794, que responde a la fórmula matemática $y = -ax+b$ es muy malo según referencian las normas. Esto es lógico, pues realmente existen consumos de agua que no guardan relación con la producción de vapor.

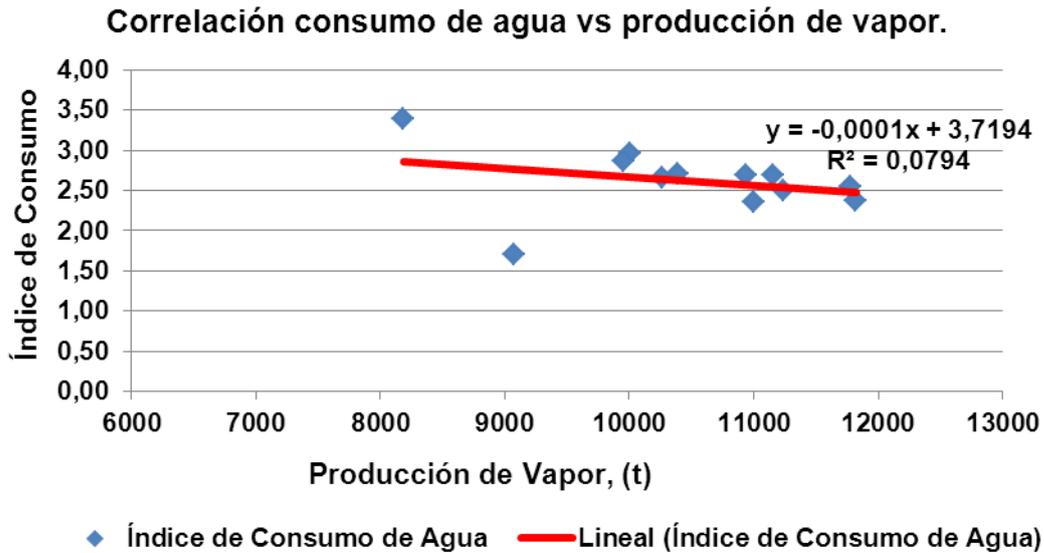


Fig. 3.5 Dispersión, tendencia y correlación entre los parámetros de consumo de agua vs producción de vapor.

La figura 3.5 muestra la línea de tendencia del consumo vs producción. En el, apenas aparecen puntos lógicos para este tipo de proceso, sobre todo para una fábrica cuya reactivación incorporó tecnología nueva y eficiente. La bibliografía consultada durante este estudio permitió conocer que una correlación cuadrática entre dos parámetros de producción es mala cuando oscila en un rango menor de 0.5 %. Se considera aceptable cuando oscila entre 0.5 a 0.7 y es considerada buena correlación cuando sobrepasa el valor de 0.7 %.

Técnica de votación ponderada (*Multivoting*)

Con todas las condiciones creadas, después de aplicar los diferentes instrumentos, el equipo investigador analizó la información recogida en los mismos y elaboró un informe, para finalmente aplicar la selección ponderada y determinar las causas fundamentales que afectan el mejor aprovechamiento del recurso agua. Los resultados se resumen a continuación:

- En la empresa, existe un flujómetro que mide la entrada del agua a la fábrica, que está verificado por el SEN, pero este no registra la totalidad del flujo, por lo que no refleja toda el agua consumida.
- Mediante la observación se detectaron varios salideros de agua y varios salideros de vapor, sin que estos sean contabilizados.

- Por la observación se pudo detectar además que existen salidas de los diferentes subprocesos que no están siendo reusadas y se vierten como residuos. Esto conlleva a un consumo constante de agua fresca.
- Por el grupo de expertos, se conoció que la empresa tiene un plan de contingencia energética que se chequea habitualmente y que se estimulan las brigadas que proporcionan mayores ahorros. Sin embargo, no existen estrategias para uso y reuso del agua, por lo que su explotación resulta irracional.
- Los trabajadores no tienen conocimiento de indicadores de eficiencia que relacionen el consumo de agua con la producción, aunque conocen de otros indicadores que reflejan cumplimiento o no de algunos renglones productivos, así como de los consumos de portadores energéticos.
- En la empresa, se conoce sobre cumplimiento de los planes de producción y se discuten los incumplimientos y se comparan los índices con las normas ramales, pero no se conocen ni se discuten los que guardan relación con el consumo de agua.
- No se conoce de incentivos que propicien un uso racional del agua, como en el caso de la emulación referida a los ahorros energéticos.
- Según el grupo de expertos, no se controlan las diferentes calidades del agua para cada operación o subproceso, esto además influye en los consumos energéticos, aunque se realizan las purgas de las calderas y de la torre de enfriamiento.
- Existen salideros de vapor en el proceso, que inciden directamente en el consumo de agua y se acentúan las pérdidas energéticas.
- Existe la producción de vapor en la caldera recuperadora en paralelo con el área de generación, lo que sobredimensiona este sistema que resulta, de hecho el mayor consumidor de agua.
- Las aguas que se utilizan para las limpiezas no se contabilizan. Estas, además, pudieran ser desviadas del mismo proceso.
- En ocasiones, se recolecta el agua de lluvia para realizar las pruebas hidráulicas de los tanques, pero no se repone esa agua al sistema de enfriamiento, por lo que no se recuperan las pérdidas.

- No se recogen los condensados que se producen en el proceso, existen considerables pérdidas por condensación y no funciona la planta de condensados.
- No existen flujómetros en todas las áreas del proceso, lo que impide tener una clara visión de toda el agua consumida en cada subproceso.
- Las entrevistas arrojaron que los indicadores que miden la eficiencia y eficacia del proceso no están identificados y no son del conocimiento de los trabajadores, y no se pudieron encontrar evidencias de su medición.
- Por consultas con los operadores, se supo que persisten malos hábitos en el consumo del agua y no se controla por la administración.
- La calificación y capacitación de los trabajadores y operarios no es adecuada y eso influye directamente en la imposibilidad de asimilar nuevas formas de gestionar el uso del agua.
- El sistema general del agua tiene un horario continuo para el consumo, por lo que resulta más difícil su control y se incrementan las pérdidas.
- La empresa no cuenta con un sistema de gestión o estrategia para el uso racional del agua.
- No se contabilizan los costos medioambientales en la empresa.
- No existe una estrategia de producciones más limpias.
- Se comprobó que no existe un documento que explique de manera general el proceso del sistema de agua y su funcionamiento; asimismo, algunos subprocesos no están explícitamente documentados por lo que existen operaciones que se realizan de manera empírica.

Del total de deficiencias detectadas, se realiza un detallado análisis para definir las de mayor impacto en la producción, por lo que se planea realizar una reducción de las causas a fin de aplicar la votación ponderada para determinar sobre cuáles se debe trabajar con vistas a reducir los consumos de agua. El listado de causas seleccionadas se presenta a continuación:

1. Sistema de generación de vapor sobredimensionado, lo que lo convierte en el mayor consumidor de agua.
2. No se conocen los costos medioambientales.

3. La empresa no posee una estrategia encaminada al control y uso racional del recurso agua.
4. Insuficiente capacitación del personal que trabaja con el recurso agua.
5. Insuficiente existencia de medios de medición y control del consumo de agua.
6. No existe criterio de uso y reuso del agua en la empresa.
7. No están bien definidos los indicadores de eficiencia y eficacia del uso del agua.
8. No existen estrategias que contribuyan a la aplicación de técnicas novedosas sobre el uso racional del agua.
9. No existen incentivos que motiven al personal para el uso eficiente del agua.
10. La gerencia no tiene dentro de sus prioridades el tema del uso racional del agua.

Una vez conocidos los principales problemas causales del uso ineficiente del agua, se necesita determinar cuáles de aquellos, representan los de mayor impacto, para establecer una estrategia de posibles soluciones que permita además identificar y proponer medidas de mejoras para el proceso. A continuación, se muestran los resultados de la técnica de votación ponderada.

Tabla 3.2 Votación Ponderada.

PARTICIPANTES	PUNTUACIONES POR CAUSAS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Votante 1	5		4		2	3		1		
Votante 2	5			2		4		3		1
Votante 3	4	3	5			2			1	
Votante 4	4	2	5		1	3				
Votante 5	5		4		2	3	1			
Suma	23	5	18	2	5	16	1	4	1	1
Frecuencia de puntuación	5	2	4	1	3	5	1	2	1	1
Orden de prioridad	1	5	2	7	4	3	8	6	9	10

Con la técnica de votación ponderada que se muestra en la tabla anterior, se pueden establecer prioridades en el tratamiento posterior de las causas más relevantes. Para el desarrollo de esta técnica, se realizó la votación de forma individual y secreta. Se asignaron valores del 1 al 5 a aquellas causas que presentan mayor importancia, siempre dándole la mayor puntuación de 5 puntos a la que se estime tenga la mayor incidencia y de forma decreciente al resto, por orden de prioridades. Para la selección final, se sumaron las puntuaciones y se organizaron en orden decreciente, en el caso de empate, se definió por la cantidad de veces que se puntuó por los expertos.

Como puede observarse en la dicha tabla, las causas 1, 3 y 6 recibieron las puntuaciones más elevadas, en ese orden; les siguen las causas 2 y 5, pero la causa 5 fue puntuada más veces, el resto de las causas presentan menor puntuación y totales, por consiguiente, la selección se plantea según el orden siguiente:

1. Sistema de generación de vapor sobredimensionado, lo que lo convierte en el mayor consumidor de agua.
2. La organización no posee una estrategia encaminada al control y uso racional del recurso agua.
3. No existe criterio de uso y reuso del agua en la empresa.
4. Insuficiente existencia de medios de medición y control del consumo de agua.
5. No se conocen los costos medioambientales.

Una vez realizados los análisis documentales y aplicadas las diferentes técnicas referenciadas en esta metodología, se ha podido evidenciar la pertinencia del presente estudio, pues ha quedado demostrado el excesivo consumo de agua en el proceso de refinación en general y en el proceso de generación de vapor. Este no es un diagnóstico concluyente, pues no se conocen aún dónde radican las mayores deficiencias que impiden un mejor desempeño del sistema del agua. Para ello, es necesario conocer el impacto ambiental que ese consumo tiene, así como su impacto en los costos de la empresa. En resumen, se desconocen los costos medioambientales, tal y como se comentó en el análisis de la figura 3.2 de este capítulo y fue reflejado en el resumen de la votación ponderada.

3.1.2.1 Evaluación de indicadores de desempeño medioambiental o de ecoeficiencia.

CUVENPETROL, S.A., según consta en su misión y visión como empresa mixta, es conoedora de que su futuro en la industria de la refinación del petróleo viene determinado por la satisfacción de sus clientes, la protección del medio ambiente y la seguridad y salud de las personas. Por tanto, ha decidido establecer, mantener y mejorar continuamente un sistema integrado de gestión basado en las normas: ISO 9001, ISO TS 29001, ISO 14001 y NC 18001. Para ello, cuenta con la infraestructura necesaria y adecuada y con recursos humanos competentes y motivados, por lo que se ha comprometido a:

- Obtener productos que cumplan con los requisitos de calidad establecidos en el catálogo de especificaciones de los clientes.
- Entregar los productos a los clientes en los plazos acordados.
- Gestionar todos los procesos productivos y de apoyo cumpliendo con los requisitos legales y regulatorios aplicables.
- Preservar el medio ambiente promoviendo el uso de prácticas de producciones más limpias, la concientización de sus trabajadores y el logro de los objetivos del desarrollo sostenible.
- Garantizar la seguridad y salud de los trabajadores, contratistas, visitantes y la comunidad.

No obstante, pese a las buenas intenciones, aún no cuenta la empresa con una estrategia de gestión del agua que mitigue los impactos medioambientales, no se contabilizan los costos medioambientales, tal y como se pudo comprobar en el análisis de la figura 3.2. Por consiguiente, estos primeros pasos constituyen un primer intento para lograrlo.

Si bien se ha podido comprobar que la generación de vapor como sistema es el principal consumidor de agua, también se ha constatado que el área de refinación constituye el que más impacta el medioambiente, por consiguiente este análisis estará enfocado en esa área.

Para este análisis, se determinaron tres grupos de indicadores de ecoeficiencia (**ver Anexo 7**) y se calcularon para los tres meses en cuestión (octubre, noviembre y diciembre de 2011), los resultados se encuentran en el **Anexo 8**. Para una mejor interpretación, se grafican los resultados y se determina cuáles son los principales elementos a que se deben considerar como altamente influyentes en la entidad:

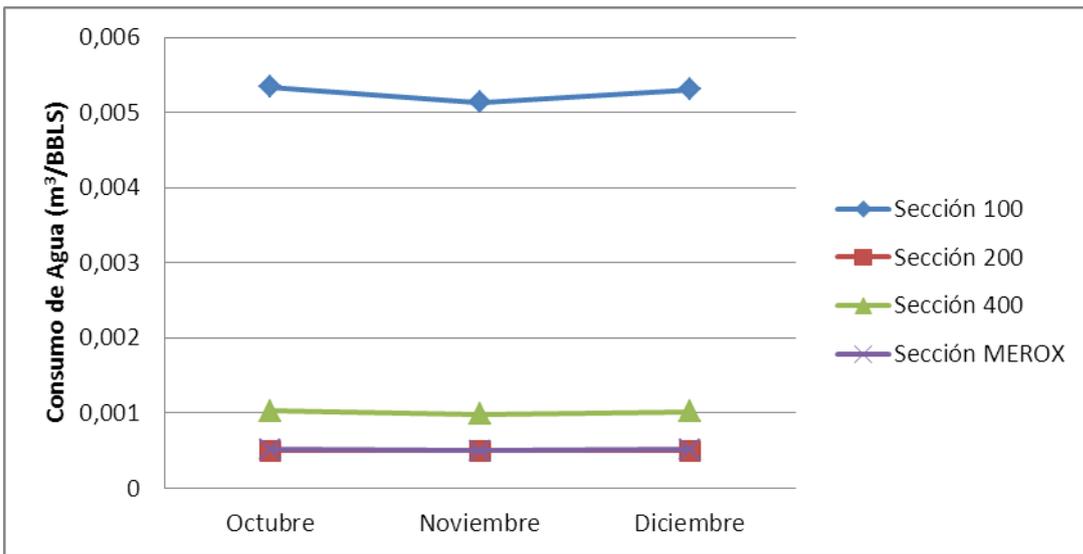


Fig. 3.6 Indicadores de Consumo.

En la figura anterior, se demuestra la relación que existe entre el consumo de agua por secciones y el nivel de producción obtenido. Al ser noviembre el mes de mayor producción, dado la fórmula del indicador de ecoeficiencia, el resultado es mínimo y la sección 100 resulta la de mayor consumo de agua en el mes de octubre, aun siendo el mes de menor producción. Esta realidad se observa en la figura 3.6.

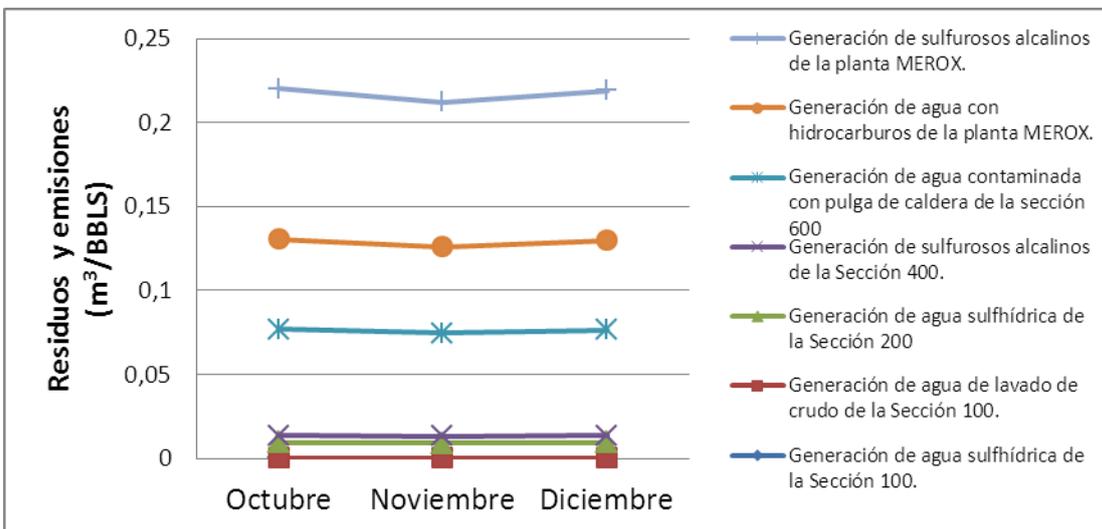


Fig. 3.7 Indicadores de residuos y emisiones.

En cuanto a este grupo de indicadores, se observa que la generación de residuos es un valor muy pequeño. La generación de residuos de agua de lavado de crudo (Sección

100), generación de residuos de sulfurosos alcalinos (Sección 400), agua sulfhídrica (Sección 200) y agua sulfhídrica (Sección 100), implica que la relación en estas unidades de agua residual con la producción no es significativa. Sin embargo, no se comporta de igual forma la generación de residuos de agua con hidrocarburos (Mercox) en el mes de diciembre y la generación de residuos de sulfurosos alcalinos (Mercox) en octubre. Estos valores se deben fundamentalmente al bajo nivel de producción alcanzado en el mes de octubre.

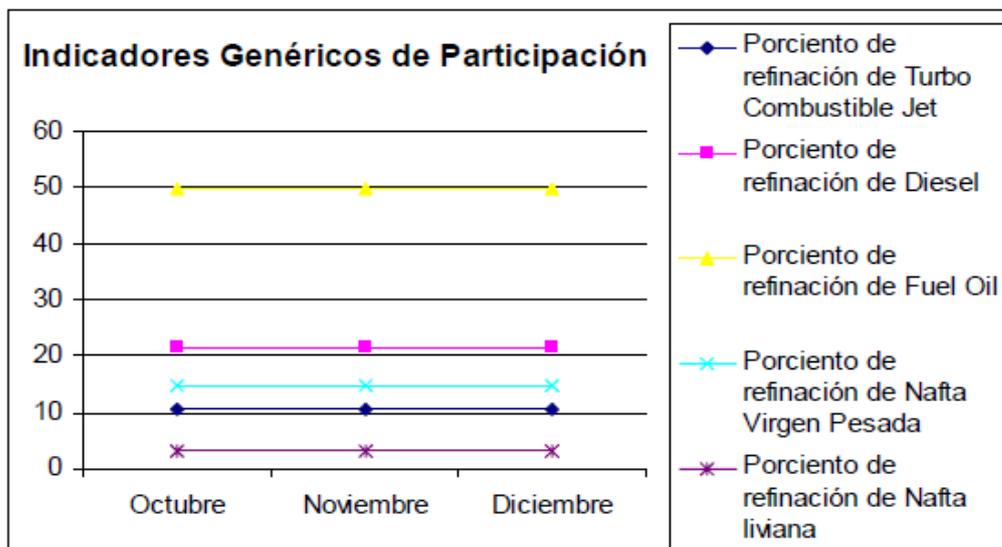


Fig. 3.8 Indicadores Genéricos de Participación.

Como se puede observar en este grupo, todos los productos se mantuvieron estables los meses de análisis, aunque el producto de mayor porcentaje de participación es el fuel oil. Estos resultados implican que se ha cumplido con las normas de consumo establecidas. Con estas ideas evidenciadas con el análisis de los indicadores de Ecoeficiencia, ya se puede conformar el ciclo de vida para los productos seleccionados, lo que se muestra a continuación.

3.1.2.2 Ciclo de Vida del producto.

Se realizó el ciclo de vida de las secciones 100; 200; 400; 600; la planta MEROX y la PTR. La elección se realizó teniendo en cuenta que estas son las secciones pertenecientes a la planta combinada de la refinería y produjeron al mismo tiempo en el

período analizado (mes de noviembre de 2011), por lo que fue posible también analizar el impacto ambiental global del área de procesos de la refinería.

Etapa I: Para el análisis de los costos medioambientales internos, se seleccionó la planta combinada general, a la cual se le determinan las entradas y salidas de los procesos hasta su disposición final en la refinería y el costo relacionado con esta disposición y tratamiento, así como la pérdida del valor de compra de las materias que terminan como desechos y/o desperdicios o agua residual.

Etapa II: Para esto, se analizan las entradas y las salidas de materias primas y agua, así como las salidas potenciales con énfasis en los desechos, desperdicios y agua residual que pueden provocar un impacto medioambiental, para un barril de crudo de petróleo refinado en todo su proceso, según el esquema tecnológico actual de esta refinería. Cada valor es determinado haciendo uso del consumo definido para cada uno de los productos.

A continuación, se presenta el balance de materiales de cada una de las secciones de forma tabulada:

Balance de materiales sección 100 (Destilación atmosférica) para 1 m³ de crudo refinado.

Entradas	Proceso	Salidas	Volumen (m ³)	Valor (CUC)	Destino
1M ³ de crudo 11.605 CUC	Pre-destilación	Agua sulfhídrica	0.000051	0.000592	
		Agua del lavado de crudo	0.0001015	0.001178	
		Nafta liviana(gas licuado)	0.0309003	14.67	
	Sección destilación	Agua sulfhídrica	0.000051	0.0005918	
		Nafta pesada	0.1601752	76.06	Sección 200
		Turbo combustible Jet A-1	0.0931392	50.49	MEROX
		Diesel Regular	0.2286708	118.98	
		Fuel oíl	0.4917909	207.46	
		Perdida de Proceso	0.00391443	1.49	

Balance de materiales MEROX para 1 m³ de crudo refinado.					
Balance de materiales sección 200 (Reformación catalítica) para 1 m³ de crudo refinado.					
Entradas	Proceso	Salidas	Volumen (m³)	Valor (CUC)	Destino
Nafta Virgen Pesada 0.160175223 m ³ 76.06 CUC	Reformación Catalítica	Reformado Estable (Gasolina)	0.87701340	425.36	

Balance de materiales sección 400 (Fraccionamiento de gases) para 1 m³ de crudo refinado.					
Entradas	Proceso	Salidas	Volumen (m³)	Valor (CUC)	Destino
Nafta liviana (gas licuado) 0.030900297m ³ 14.67 CUC	Desbutanizador T-401-1	Sulfurosos alcalinos	0.004186	0.04857853	
		Nafta liviana	0.510907777	242.61	
		GLP (Gas licuado de petróleo)	0.567565615	163.25	

Balance de materiales sección 600 (Caldera recuperadora) para 1 m³ de crudo refinado.					
Entradas	Proceso	Salidas	Volumen (m³)	Valor (CUC)	Destino
Agua tratada 7 200 m ³ 2 160.00 CUC	Producción de vapor	Agua contaminada de purga de caldera	0.061	0.0183	
		Vapor	5760	156 729.6	

Entradas	Proceso	Salidas	Volumen (m ³)	Valor (CUC)	Destino
Turbo combustible	Tratamiento de acidez, lavado y filtrado	Sulfurosos alcalinos	0.0861	0.9991905	
Jet A-1		Agua con hidrocarburos	0.051688	0.59983924	
0.093139136 m ³ 50.49 CUC		Turbo Jet	0.093139136	50.49	

Balance de materiales PTR (Planta de tratamiento de residuales) para 1 m³ de crudo refinado.					
Entradas	Proceso	Salidas	Volumen (m ³)	Valor (CUC)	Destino
Aguas oleosas (Residual) 0.1421775 m ³	Residual tratado	Aguas residuales tratadas	0.202299107		
Aguas de reposición 0.173147321 m ³ 0.051944196 CUC	Abasto de agua	Aguas de enfriamiento	6.9199642857	2.075892857	

Determinadas las entradas y salidas de los procesos, con énfasis en las aguas residuales, se pueden definir de forma gráfica los ciclos de vida de cada uno de los productos. Con la información que brinda la forma gráfica del ciclo de vida, además se pueden determinar las actividades medioambientales, que generan las salidas resultantes de los procesos que impactan el medioambiente. Hay que considerar que el ciclo de vida se realiza para los procesos, por estar en presencia de procesos continuos y difíciles de relacionar con un solo producto. En el **Anexo 3** se pueden observar las relaciones de flujos entre las secciones de la planta combinada de una forma más técnica.

Después de realizar el balance de materiales por cada una de las secciones, se presenta la forma gráfica del ciclo de vida de los productos para los procesos de refinación:

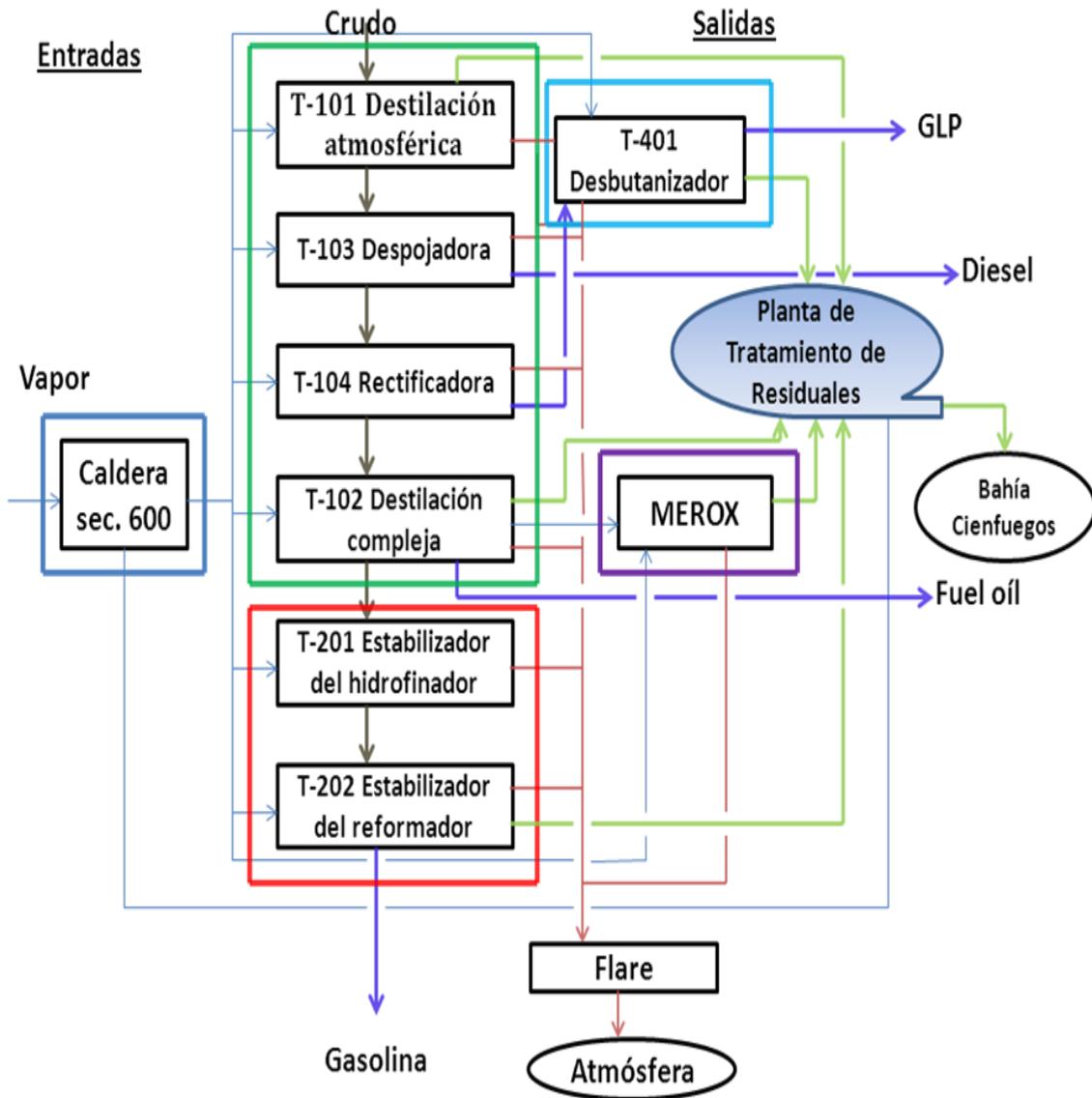


Fig. 3.9 Ciclo de vida de los productos.

- LEYENDA**
- Sección 100
 - Sección 200
 - Sección 400
 - Sección 600
 - MEROX
 - PTR
 - Vapor
 - Crudo
 - Residuales
 - Disparos al flare
 - Productos

Etapa III: Correlación de los desechos y desperdicios con los impactos medioambientales.

Desechos, desperdicios y emisiones	Aspecto medioambiental
Aguas residuales	Contaminación de las aguas

Del análisis de correlación entre las salidas con sus aspectos medioambientales, se pudo detectar que las aguas residuales son el principal componente que afecta el medio ambiente, pues en estas aguas se encuentran residuos de petróleo, cloruros, sulfatos, sosa agotada, fenoles y hierro. Además, se pueden apreciar estos impactos mediante el portafolio medioambiental de la empresa:

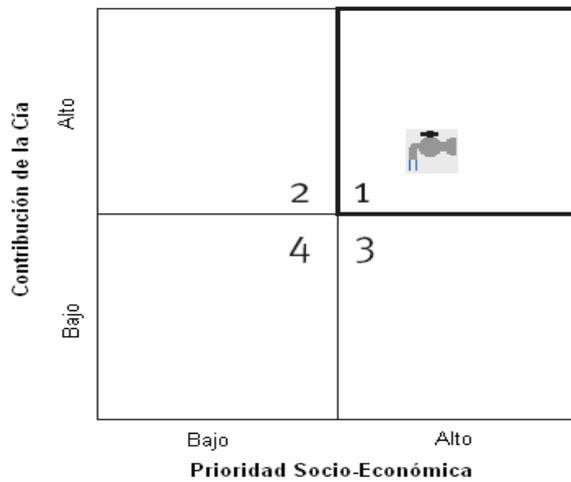


Fig. 3.10 Portafolio medioambiental de la refinería en las secciones 100, 200, 400, 600, planta MEROX y PTR para las producciones del mes analizado.

Como se puede observar desde el punto de vista de los impactos en el portafolio medioambiental, el agua residual es el aspecto de mayor importancia respecto a su relación con el medio ambiente ubicado en el cuadrante 1 del portafolio medioambiental, lo que denota que hay que enfocarlo en programas de minimización para esa agua.

• **Consecuencias del impacto ambiental.**

Los efluentes industriales y pluviales del primer sistema y los sulfurosos-alcalinos tratados se vierten en la bahía de Cienfuegos. Antes de ese vertimiento, se toman muestras una vez por semana para analizar la composición del residual y comparar sus parámetros con los valores admisibles según la norma NC-ST-360.

La calidad del residual tratado vertido en la bahía cumple con las exigencias de la norma. El impacto ambiental en el cuerpo receptor es mínimo teniendo en cuenta que la concentración de los parámetros normados está por debajo de lo admitido y la descarga se produce mediante un emisario submarino en un punto donde se logra la mayor dilución y esto favorece el carácter autodepurativo del cuerpo receptor.

- **Vías de minimización.**

Para lograr la minimización de estos efluentes se pueden llevar a cabo las siguientes medidas:

- Estudio en las plantas de cada proceso para reducir al máximo el volumen de efluentes que se deben drenar y la concentración de hidrocarburos y otros contaminantes en el efluente.
- Análisis de las bombas que descargan el agua de enfriamiento a la canalización con el objetivo de incorporarlas al agua de retorno del sistema de enfriamiento y así disminuir el flujo de efluentes que se deben tratar.
- Drenajes de tanques y tambores con permanente observación visual para evitar salidas de hidrocarburos. Alertar errores de la instrumentación.
- Estudio de las materias primas utilizadas y sustitución por otras que mejoren el proceso proporcionando menos efluentes o menor concentración de contaminante.
- Cambio de tecnologías obsoletas o de baja eficiencia en los procesos.
- Permanente actualización de los procedimientos de operación.
- Entrenamiento y capacitación al personal de operación.
- Estudio de la posibilidad de uso y reuso para los efluentes de un proceso como materia prima de otro proceso.

Etapas IV: En la Valoración económico – medioambiental se determinan los costos más relevantes respecto al impacto medioambiental, por los principales sitios de disposición. Utilizando las listas de chequeo que se definen en el Capítulo II, (**Ver anexo 9**) se determinan los costos relacionados con los principales desechos y desperdicios, según los elementos que se describen.

El agua residual es el aspecto de mayor importancia respecto a su relación con el medio ambiente, por tal motivo, se determina la relación entre costos y gastos medioambientales alcanzados en noviembre de 2011. Para esto, se aplica la lista de chequeos de agua residual de forma general considerando el total integrado por los

productos. A continuación, se muestran los resultados en la **tabla 3.3**. Los cálculos desglosados pueden verse en el **Anexo 10**, donde aparecen todas las operaciones realizadas para determinar los costos/gastos medioambientales internos, según las listas de chequeos aplicadas

Para el cálculo de todos los costos/gastos, se siguió el procedimiento de cálculo diseñado por (Juviel, 2010). El análisis de todos estos cálculos, permitió conocer que la categoría de mayor influencia en ese resultado fue el valor de compra de las salidas de los no-productos con un 75 % de incidencia. Esto demuestra que se está gastando mucho en la compra de materias primas, que finalmente serán depuestas como residuos y no como productos.

Por el orden de incidencia, le sigue la categoría de tratamiento de desechos y emisiones, con un 19 % de incidencia, un valor de impacto no muy alto, pero marcado por la depreciación del equipamiento, sobre todo de la planta de tratamiento de residuales.

Una vez determinados los costos y gastos ambientales, según el procedimiento propuesto por Juviel, se puede entonces concluir el diagnóstico realizado al sistema de distribución y consumo del agua en la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos”. Además se hará una evaluación tecnológica a una propuesta de mejora que contribuya al uso racional del agua. Luego entonces se presentará a la gerencia para la toma de decisiones.

A continuación, se presenta el reporte de costos y gastos medioambientales calculados para el mes analizado:

Tabla 3.3 Relación de costos/gastos medioambientales de la refinería de Cienfuegos

Categoría de costo/ gasto ambiental	UM
1. Tratamiento de desechos y emisiones	
1.1 Depreciación de equipamiento relacionado	
• Depreciación de las bombas de la Sección 100	22 769,73
• Depreciación de las bombas de la Sección 200	3 864,86
• Depreciación de las bombas de la Sección 400	4 841,06
• Depreciación de las bombas de la Sección 600	5 682,46
• Depreciación de las bombas de MEROX	2782,40
• Depreciación de PTR	866 389,90
• Depreciación de las bombas de PTR	170 271,22
1.2 Mantenimiento y materiales y servicios operativos	
• Sulfato de alúmina	540,37
• Gasto de electricidad de la PTR	228 422,40
• Gasto de electricidad de las bombas de la sección 100	30 526,88
• Gasto de electricidad de las bombas de la sección 200	21 458,86
• Gasto de electricidad de las bombas de la sección 400	6 852,67
• Gasto de electricidad de las bombas de la sección 600	7 452,46
• Gasto de electricidad de las bombas de la MEROX	3 856,36
1.3 Personal	
• Jefe sector agua y tratamiento	625,00
• Tecnólogo "B" sector agua y tratamiento	430,27
• 4 Jefe de brigada sector agua y tratamiento	1 661,33
• 12 Operadores "C" (3 por turnos)	4 260,85
• 11 Operadores "A" MAP (Residuales)	4 345,00
• Tecnóloga "A" Procesos Industriales	573,86
• Programador Mantenimiento	350,25
• Inspector de Equipos Técnicos	385,00
• Especialista "B" A.I.T □	447,41
2. Prevención y gestión ambiental	
2.2 Personal para actividades generales de gestión ambiental	
Especialista en SHA	495,00
3. Valor de compra del material de las salidas de no-productos.	
• Agua sulfúrica de la sección 100	311 748,55
• Agua del lavado del crudo de la sección 100	467 719,52
• Agua sulfúrica de la sección 200	494 734,49
• Sulfurosos alcalinos de la sección 400	468 871,62
• Sulfurosos alcalinos de la MEROX	658 201,95
• Agua con hidrocarburos de la MEROX	837 179,27
• Agua contaminada de pulga de sección 600	348 998,12
Σ Gastos ambientales	4 976 739,12

3.1.3 Tercera etapa: Presentación de la propuesta de mejora.

Después de concluido el diagnóstico del sistema del agua, se ha podido comprobar el excesivo consumo de ese preciado líquido, las causas fundamentales que lo provocan, además fueron calculados los costos/gastos medioambientales impactados en la empresa por el funcionamiento de ese sistema. Con el resultado del mismo, la gerencia de la empresa está en condiciones de adoptar medidas correctivas y tomar las decisiones más viables que pudieran minimizar esos consumos. Durante el estudio, quedó demostrado también el sobredimensionamiento del sistema de generación de vapor, por consiguiente, su incidencia directa en el excesivo consumo de agua. Teniendo en cuenta los resultados del diagnóstico, las experiencias acumuladas, las condiciones técnicas del sistema de vapor y del agua en general, el autor de este trabajo realiza la propuesta de mejora, cuya evaluación económica se presenta a continuación:

3.1.3.1 Evaluación termoeconómica de la propuesta de mejora, como estrategia para el uso racional del agua.

La Economía, enmarcada en el ámbito de las ciencias sociales, está relacionada con el uso y distribución de los recursos naturales, puesto que de éstos dependen los sistemas productivos y desarrollo tecnológico. La actividad económica se puede considerar, de forma simplificada, como un sistema que se desarrolla consumiendo recursos e intercambiando bienes y servicios, para lo que precisa una compleja estructura.

Por otra parte, la Termodinámica que estudia los procesos de transformación de la energía, permite a través de su Segundo Principio cuantificar la cantidad de recursos naturales consumidos en un proceso determinado, y por tanto saber cuánto cuesta en términos de recursos consumidos.

Ante esto, es claro que existe una relación entre la Termodinámica y la Economía. La Termoeconomía, término propuesto por Evans y Tribus en 1962, que nace como nueva disciplina en la década de los 60, tiene como objetivo estudiar la conexión entre Termodinámica y Economía, sentar las bases teóricas de una ciencia del ahorro de energía y obtener modelos que recojan la limitación que supone no disponer de una cantidad ilimitada de recursos naturales, buscando criterios generales que permitan evaluar la eficiencia y el coste de sus productos, en sistemas con un consumo intensivo de energía.

La metodología de cálculo y análisis que aquí se presenta, constituye una potente herramienta para el análisis termoeconómico de cualquier sistema de producción.

El coste exergoeconómico del flujo objeto de estudio (vapor de agua), se puede considerar como el aporte de dos contribuciones: La primera, es la que procede del coste monetario de la exergía de los recursos involucrados en el proceso, su coste exergético. La segunda, es la que encierra el resto de los costes originados en el proceso productivo asociado a su obtención, tales como costes de amortización, operación y mantenimiento.

En este análisis, se mezclan parámetros termodinámicos como la exergía del agua y el combustible y la eficiencia exergética de la instalación. Como parámetros económicos los precios del agua y el combustible, dentro del costo zonal, el costo de la inversión, el factor de recuperación de la inversión; además están presentes los flujos de cada una de las corrientes implicadas.

En el **anexo 11**, aparecen todos los cálculos del análisis termoeconómico de la producción de vapor en ambas calderas. En él, se presenta una tabla con los datos correspondientes a cada una de las cargas con que normalmente pueden trabajar las calderas del título 52. Sin embargo, se selecciona la carga de producción de vapor de 12,43 t/h, porque habitualmente se trabaja para esa producción con el objetivo de completar con las 8-9 t/h de vapor que produce la caldera recuperadora, lo que demanda el proceso en general, aproximadamente 20 t/h.

Se debe resaltar que la capacidad de diseño de la caldera recuperadora es de 25 t/h. Por consiguiente con la reparación de esta y trabajando a plena capacidad, sería suficiente para satisfacer la demanda de vapor del proceso tecnológico. Se evitaría entonces, que las calderas del título 52 tengan que trabajar a media capacidad, de esta forma disminuiría el consumo de energía, los costos de producción, el consumo de reactivos, el consumo de agua y las emanaciones al medioambiente.

Para realizar la evaluación termoeconómica de la propuesta de mejora ver anexo 11. En la siguiente tabla 3.4, se presentan los resultados:

Tabla 3.4 Evaluación termoeconómica de la propuesta presentada.

CALCULOS	UM	CALDERA T-52	CALDERA DK-600
Exergía del vapor saturado (b_{vs})	$\frac{kJ}{kg}$	958.25	----
Exergía del vapor saturado como producto (b_{vsp})	$\frac{kJ}{kg}$	----	897,95
Flujo exergético vapor saturado (E_{vs})	kW	3308,62	2197.48
Exergía del agua de alimentar (b_{aa})	$\frac{kJ}{kg}$	76.60	7.28
Flujo exergético del agua de alimentar (E_{aa})	kW	345.33	20.46
Calor disponible del fuel oíl (Q_d)	$\frac{kJ}{kg}$	40001,67	---
Exergía vapor saturado considerado como fuel oíl (b_{vsf})	$\frac{kJ}{kg}$	---	938.44
Flujo exergético del fuel oíl (E_{comb})	kW	10836,45	----
Flujo exergético vapor saturado considerado como fuel oíl (E_{vsf})	kW	----	9448.83
Eficiencia exergética (η_{exerg})	%	29,59	23,21
Factor de recuperación	FR	0,1275	0,1275
Costo zonal (C_z)	$\frac{\$}{h}$	15.22	19,14
Costo exergético del fuel oíl (CE_{comb})	$\frac{\$}{kJ}$	$7,51 \cdot 10^{-6}$	----
Costo exergético vapor saturado considerado como del fuel oíl (CE_{vsf})	$\frac{\$}{kJ}$	----	$1,45 \cdot 10^{-5}$
Costo exergético del agua de alimentar CE_{agua}	$\frac{\$}{kJ}$	0,000027	0,000027
Costo exergoeconómico del vapor (CE_{vs})	$\frac{\$}{kJ}$	0,000117	0,0000124
Costo de producción del vapor saturado (Cp_{vs})	$\frac{\$}{ton}$	119,78	47,88

Con los resultados obtenidos en el análisis termoeconómico, se puede establecer una comparación entre las condiciones operacionales, los costos económicos, la eficiencia de los sistemas y con ellos, llegar a conclusiones.

Se conoce que las calderas del título 52, trabajan en la actualidad, aproximadamente, al 50 % de su capacidad; entonces al llevar la caldera (**Título 52**) a trabajar al 80 % y al 100 % de su capacidad nominal se obtendrían los resultados que muestra la siguiente tabla:

Tabla 3.5 Comportamiento de los parámetros de eficiencia con la variación de capacidad de producción de vapor.

Parámetros Caldera F-52-101-1 del tipo DE-25-14-225-M	U.M.	Condiciones actuales (49.7 % de la capacidad)	Al 80 % de la capacidad	Al 100 % de la capacidad
η exergética	%	29.59	44.04	55.05
Costo exergoeconómico del vapor	$\frac{\$}{kJ}$	0.000117	0,0000778	0.0000623
Costo de Producción del Vapor	$\frac{\$}{ton}$	119.78	74.55	59.70

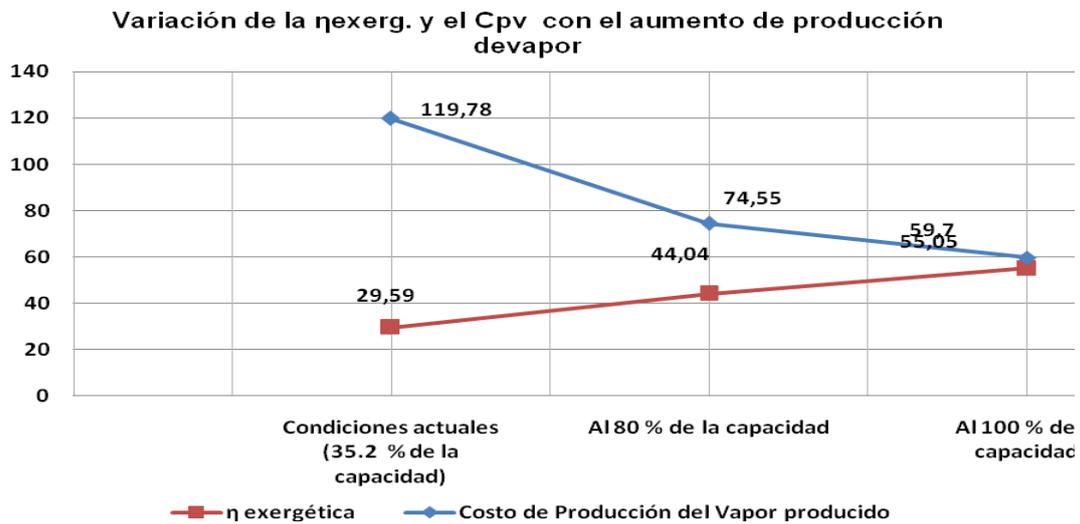


Fig. 3.11 Variación de la eficiencia exergética y el Costo de producción de vapor con el aumento de la producción de vapor.

Es evidente, que con el aumento de la carga aumenta la eficiencia y por consiguiente, disminuyen los costos, sin embargo, en el proceso de generación de vapor en estas

calderas continúa el elevado consumo energético de las bombas que intervienen en el mismo. Prevalecen las emanaciones contaminantes al medio ambiente, producto de la combustión de combustibles fósiles, así como las amortizaciones y depreciación del equipamiento tecnológico. Esto, inevitablemente, hace al sistema inoperable.

Mientras tanto, para las mismas condiciones, al llevar la caldera recuperadora (DK-600) a trabajar al 80 % y al 100 % de su capacidad nominal se obtendrían los resultados que muestra la siguiente tabla.

Tabla 3.6 Comportamiento de la eficiencia con la variación de capacidad de producción de vapor en la caldera recuperadora D K-01.

Parámetros de la caldera recuperadora DK-01	U.M.	Condiciones actuales (35.2 % de la capacidad)	Al 80 % de la capacidad	Al 100 % de la capacidad
η exergética	%	23.21	52.68	65.85
Costo exergoeconómico del vapor	$\frac{\$}{kJ}$	0.0000124	0.00000550	0.00000440
Costo de producción del vapor	$\frac{\$}{ton}$	47.88	9,35	5.98

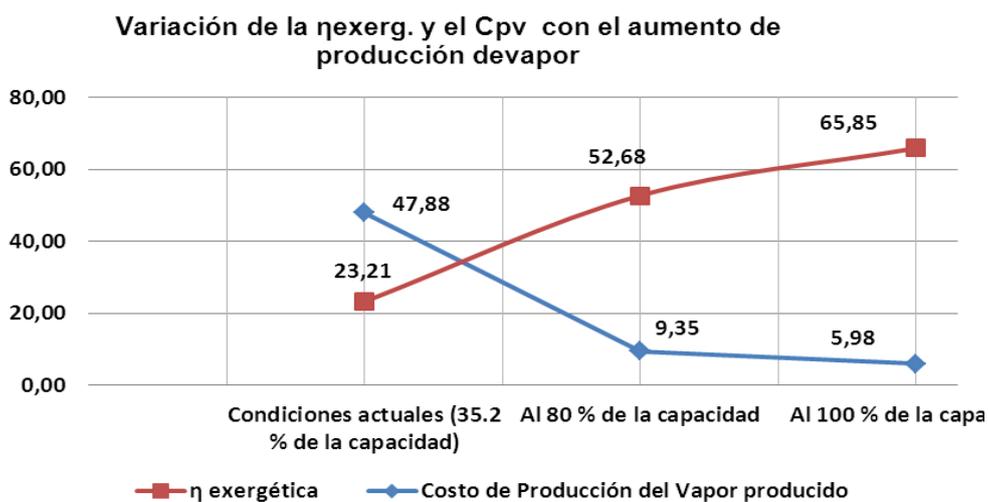


Fig.3.12 Variación de la eficiencia exergética y el Costo de producción de vapor con el aumento de la producción de vapor.

La variación de la capacidad de producción de vapor, desde las condiciones actuales hasta las condiciones de diseño presentadas en las tablas y el análisis de las figuras anteriores nos permiten observar, cómo va aumentando la eficiencia exergética de la caldera, y con ello, ocurre simultáneamente una disminución del costo del vapor producido. El análisis exergético, nos muestra asimismo la disminución del costo exergético unitario del vapor.

El análisis exergético, permite determinar el máximo ahorro de energía termodinámicamente en las condiciones reales de una instalación y en cada uno de los aparatos que lo componen. Con el análisis exergético por componentes y la determinación de los flujos de costos, pueden ser determinados los costos evitables de las pérdidas exergéticas.

Queda entonces, demostrado con este ejemplo, que variar un parámetro en el rango de operaciones, desde las condiciones actuales de trabajo hasta las condiciones de diseño, nos brinda las consideraciones antes enunciadas y permite la toma adecuada de decisiones. Se refleja la necesidad de producir vapor a plena capacidad en la caldera recuperadora, ya que su producción se realiza sin consumo alguno de combustible fósil. El costo de producción del vapor en esta caldera es considerablemente menor que en la caldera del título 52.

Un efecto de racionalidad, se produce con el aumento del factor de carga, por cuanto se disminuyen o eliminan las irreversibilidades

Conclusiones parciales del Capítulo III

1. Son definidos los objetivos, enfocados a evaluar y cuantificar los impactos ambientales del ciclo de vida de los productos, así como valorar variantes ambientales que minimicen estos impactos.
2. Una descripción cualitativa y cuantitativamente de cada una de las fases del ciclo de vida de los productos, permite que sean representados los diagramas de cada proceso, definiendo en estos, los límites de cada uno.
3. Son calculados y quedan establecidos los indicadores de ecoeficiencia, para el proceso de refinación de petróleo, lo cual permitirá a la gerencia una mejor valoración del uso y reuso del agua en la industria.
4. Se evalúa el impacto provocado y se concluye que la categoría Valor de compra del material de las salidas de no-productos, presenta la mayor contribución con un 75 %, lo que indica que se gasta demasiado en materias primas que se depondrán como desechos y no como productos.
5. Los resultados del diagnóstico, permitieron determinar que el área de generación de vapor, es el área de mayor consumo de agua, así como el área de refinación es la de mayor impacto ambiental.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Con los resultados del diagnóstico, queda validada la metodología de diagnóstico propuesta, pues los mismos permitieron identificar los mayores consumos de agua, sus costos e impacto ambiental, lo que le permite a la gerencia una herramienta eficaz para la toma de mejores decisiones.
2. Se demuestra conceptual y teóricamente que la estrategia presentada para el uso racional del agua, constituye una versión preliminar de un sistema de gestión integrado, con enfoques de economía ecológica, capaz de valorar la sustentabilidad de la refinación de petróleo y sus posibles análisis de mejoras. Este resultado valida la hipótesis planteada en esta investigación.
3. La propuesta de mejora, evaluada termoeconómicamente, demuestra la eficacia de la estrategia presentada en este estudio, pues su aplicación conlleva a un ahorro considerable de agua, lo que se traduce en un uso racional del agua, objetivo principal de este estudio.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda, establecer la metodología de diagnóstico presentada, como una herramienta de control en la refinería objeto de estudio y su generalización a similares empresas dentro del ámbito nacional.
2. Se recomienda, establecer los indicadores de ecoeficiencia determinados, como vía para dar seguimiento al monitoreo ambiental de la empresa.
3. Se recomienda, aplicar la estrategia presentada, como una variante de selección para el uso racional del agua, dentro del proceso de refinación de petróleo.

BIBLIOGRAFÍA

1. AEMA. *Contabilidad Ambiental: medida, evaluación y comunicación de la actuación ambiental de la Empresa*. Agencia Europea de Medio Ambiente . 1999.
2. Alves, J. *Analysis and Design of Refinery Hydrogen Systems*. UMIST: PhD Thesis. 1999.
3. Arriola, A. y Gutierrez, E. El análisis de pliegue (pinch analysis) una técnica de integración energética de proceso. Disponible en Internet.: <http://www.iie.org.mx/publica/boljul96/aplitec.htm> . [En línea] julio de 1996. [Citado el: 5 de mayo de 2012.]
4. Bagajewicz, M. A. *Bagajewicz, M., A Review of Recent Design Procedures for Water Networks in Refineries and Process Plants*. s.l. : Comp. Chem. Eng, 2000. 24: 2093-2113.
5. Bastida Lopez E., Martín W.F., Monteagudo Yanes J.P. *Uso Racional del Agua*. Cienfuegos : MINED, 2007.
6. Bérbard, S; Sorin, M. Water minimization in the washing area. *Tappi Journal*. pp. 1-12. September. 2001, Vol. Vol. 83, No 9.
7. Berry T. & Failing L. *Center for Business and the Arts. Environmental Accounting*. 1996.
8. Bollilla, Ana,. *Introducción a la Computación Neuronal*. Disponible en Internet: <http://www.orcero.org/irbis/disertacion/node210.html>. 2008.
9. Brundtland, G.H. *Nuestro futuro común*. 1987.
10. bvsde.ops-oms.org. 2007. El agua. Disponible en Internet:<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/e/elagua.html>. [En línea] 2007. [Citado el: 12 de mayo de 2012.]
11. Carmona, G. *Cogeneración basada en tecnología pinch. (En opción al título de master en ciencias)*. Universidad de Cienfuegos. Cienfuegos : MES , 2006.
12. Carrión, P. y López, E. *Optimización mediante algoritmos genéticos de la gestión del Agua en el regadío*. s.l. : Rev. Int. Mét. Num. Cál. Dis. Ing. Vol.19, 2003. 4,447-462.
13. Catalina, Alfredo. *Introducción a las redes neuronales artificialesl* . : gui.uva.es, .
14. CEPAL org. Comisión Económica para América Latina. Informe de Población 2003. Disponible en Internet:[http:// www.cepal.org](http://www.cepal.org). [En línea] 2003. [Citado el: 12 de mayo de 2012.]
15. Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. *Water Footprints of Nations. Value of Water Research Report Series 16*. UNESCOIHE, Delft, the Netherlands. : s.n., 2004.
16. Chapagain, A.K., Orr, S. *The Impact of the UK's Food and Fibre Consumption on Global Water Resources*. s.l. : WWFUK, Godalming, UK, 2008.

17. cheresources.com. Diseño integrado de procesos con tecnología de pliegue. Disponible en Internet: <http://www.cheresources.com/pinchtech2.shtml>. [En línea] 2010. [Citado el: 12 de junio de 2012.] <http://www.cheresources.com/pinchtech2.shtml>, 2010.
18. CINU. *Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos (wwdr). Enero / Marzo*. s.l. : Centro de Información de Naciones Unidas, 2003.
19. CITMA. *Reporte Situación Ambiental Cubana*. 2004 .
20. comisión mundial de las Naciones Unidas sobre medio ambiente y desarrollo, 1987.
21. Constanza, R. *Una introducción a la economía ecológica*. México : Compañía Editorial Continental, 1999.
22. Cripps, H. Process integration in the pulp and paper industry. *Tappi Jopurnal, February*. 2000, Vol. Vol.81, N0 10.
23. Dhole, VR et al. *La tecnología WaterPinch, pendiente de nuevo: a Linnhoff de March Ltd. GB 9500522.9* Reino Unido, 2000.
24. diariohoy.net. Diario Hoy, Argentina. *Resumen de Prensa- Daily News. México, América Latina y el Caribe / México, Latin America and the Caribbean*. [En línea] Disponible en Internet: <http://www.diariohoy.net/notas/verNoticia.phtml/html.>, 19 de febrero de 2006. [Citado el: 22 de mayo de 2012.] 216977.
25. Dominic Chwan, Y. F, Zainuddin, A. M, Yin Ming Tan. Uset Cascade Analysis Optimize Water Networks. *Disponibile en Internet: www.cepmagazina.org*. [En línea] University Teknology Malaysia, 2006. [Citado el: 12 de noviembre de 2011.]
26. Dunn R. and Wensel H. *Process Integration Design methods for water conservation and wastewater reduction in industry. Clean prod Processes. Vol 3.pp 307-318*. 2001.
27. El-Halwagi, M. M. and V. Manousiouthakis. *Simultaneous Synthesis of Mass* . 1996.
28. El-Halwagi, MM y V. Manousiouthakis. *Síntesis de redes de intercambio en masa*. s.l. : AIChE, 1989. 35 (8), 1233.
29. elpais. *Diario "El País", Uruguay. Disponible en Internet: http://www.elpais.uy*. [En línea] Uruguay, 19 de febrero de 2006. [Citado el: 12 de abril de 2012.]
30. FAO.org. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Disponible en Internet. http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/005/Y3918S/y3918s02.htm . [En línea] 2002. [Citado el: 22 de enero de 2012.]
31. fciencias.unam.mx. Construcción de bases de conocimiento con Computación Evolutiva. Disponible en Internet. <http://www.fciencias.unam.mx/revista/soluciones/N17/Vlad1.html>. [En línea] 2005.

32. Foo, C. Y., Z. A. Manan, R. M. Yunus, R. A. Aziz, Tan, Y. L. *Water Minimisation for Batch Process Systems – A Pinch Technology Approach*, paper submitted to 2nd World Engineering Congress, 22 – 25 July . Sarawak : s.n., 2002.
33. Forum sumando energías, 2003.
34. Franco, L., Olmedo, E. & Valderas, J. 2006. *Introducción al concepto de valor esperado o Esperanza Matemática de una Variable Aleatoria*. p.6. . s.l., 2006.
35. Gale, R.J. & Stokoe, P.K. *Environmental Cost Accounting and Business* . 2001.
36. Gary H.J.and Handwerk G.E. *Petroleum Refining Technology and Economics*. Fourth Edition, pag. 49. 2006.
37. GEMI. *Global Environmental Management Initiative (GEMI) 1992*, p.6-7) . 1992.
38. —. *Global Environmental Management Initiative*.p.p.11-14 . 1992.
39. ginuss.eresmas.com. 2011. *Introducción a la metodología pinch*. Disponible en Internet: <http://ginuss.eresmas.com/introduccion.htm>. 2011.
40. Goldberg, D. E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. . s.l. : Addison- Wesley Publishing Company, Inc., 1989.
41. gpinch.sourceforge.net. El algoritmo de la tabla del problema. Disponible en Internet: <http://gpinch.sourceforge.net/pinch/node1.html> . [En línea] 2006. [Citado el: 22 de marzo de 2012.]
42. Hallale, N. *A New Graphical Targeting Method for Water Minimisation*. *Adv. Env. Res., In press*. 2001.
43. icgeocities.com. Introducción a la vida artificial. Disponible en Internet: <http://icgeocities.com/CapeCanaveral/8104/ivan.htm> . [En línea] 2005. [Citado el: 13 de enero de 2012.]
44. Informe Planeta Vivo . *La Huella Hídrica del Consumo*. 2008.
45. Iturria, D.E. *Costos Ambientales*, p. 32 . Uruguay : Asociación Uruguaya de Costos, 2000.
46. Juviel, Tamayo O. *Procedimiento para presupuestar los costos medioambientales en la refinería de petróleo de Cienfuegos*. Tesis en opción del título de licenciado en contabilidad y finanzas. Cienfuegos : s.n., 2010.
47. Kemp, I. C. and Deakin, A. W. *The Cascade Analysis for Energy and Process Integration of Batch Processes. Part 1: Calculation of Energy Targets*. . s.l. : Chem. Eng. Res. Des. 67: 495 – 509, 1989.
48. Lapido, M. y col. *Termodinámica avanzada*. Cienfuegos : MES. CEEMA. Universidad de Cienfuegos, 2006.
49. León, B. L. *Cálculo de costos medioambientales en sección 200; 600* . Tesis en opción al título de licenciado en contabilidad y finanzas. 2009.
50. López, T. K. *Cálculo de costos medioambientales en sección 100; 400 y MEROX*. Tesis en opción al título de licenciado en contabilidad y finanzas. 2009.

51. Marczyk, Adam. Algoritmos genéticos y computación evolutiva. Disponible en Internet.: <http://the-geek.org/docs/algen> . [En línea] , de 2006 . [Citado el: 20 de diciembre de 2011 .]
52. Masanet, M.J. *Desarrollo e integración de los Sistemas de Información Contable en la gestión medioambiental de la Empresa.* p.p.265, 266 y 379. 2000.
53. Monteagudo, José. *Eficiencia energética en la competitividad de las empresas, Ceema. UCF.* Cienfuegos : MES, 2004.
54. Montesino, Ma P. García-Guzmán, A. Ayuso, J. L. *Optimización de redes de distribución de Agua utilizando un algoritmo genético.* , 2005 .
55. naolinco/igeofcu.unam.mx. El agua en América y el mundo. Disponible en Internet. [En línea] http://naolinco/igeofcu.unam.mx/atlas/ame_mundo/agua_dulce1.htm, 2005.
56. ODM. *Objetivos de Desarrollo para el Milenio de las Naciones Unidas.* 2000.
57. ONE. 2006. *Diagnóstico de la Gestión Ambiental.* La Habana, 25 pp. : Oficina Nacional de Estadísticas. Dirección de Industria, 2006.
58. [orcero.org](http://www.orcero.org). Los algoritmos genéticos. Disponible en Internet.: <http://www.orcero.org/irbis/disertacion/node210.html>. [En línea] 2006. [Citado el: 22 de enero de 2012.]
59. Planeta Vivo. World Wide Fund for Nature, WWF. *Informe: Fondo mundial para la Naturaleza.* [En línea] 2012. [Citado el: 3 de abril de 2012.]
60. Polley, G. T. and Polley, H. L. *Design Better Water Networks.* 96 (2): 47-52. s.l. : Chem. Eng. Prog, 2000.
61. Ramchandani, N. Dhole, V., Tainsh, R. A., Wasilewski, M. *Make Your Process Water Pay for Itself.* pp 100 – 103 . s.l. : Chemical Engineering 103, 1996.
62. Rieradevall, J. 1998. *Ecodiseño hacia el desarrollo sostenible, nueva estrategia de mejora ambiental de los productos por parte de las empresas.* p.6. , 1998.
63. Satish Joshi, Ranjani Krishnan, y Lester Lave. *Estimating the hidden costs of environmental regulation.* *The Accounting Review*, Abril . 2001 .
64. Scavone, G. *La Producción Limpia como oportunidad de negocio.* Available at: <http://www.ifac.com.pag>. 12 . 2006.
65. Scavone, G.M. *¿Por qué medir los Costos Ambientales?. Impacto Ambiental: sus posibilidades de captación y control a través de la información contable.* Buenos Aires, Argentina : Proyecto de Investigación UBACyT , 2000.
66. Schaltegger, S. & Burritt, R. *What is Environmental Accounting?.* Available at: <http://www.greenleaf-publishing.com> . 2000.
67. Sen Samanta. *Medio ambiente y desarrollo.* Disponible en Internet:<http://www.tierramerica.net/noticias3.shtml> . 2001. 0401.
68. Sobrepera, Rita. *Metodología para evaluar la gestión del agua en la producción y en los servicios.* En opción al título de master en ciencias. Cienfuegos : MES. Universidad de Cienfuegos. , 2006.

69. terra.org. 2006.
http://www.terra.org/html/s/producto/vida/magatzem/sprv0004i.html. [En línea] 2006. [Citado el: 22 de mayo de 2012.]
70. Toledo, R. F. *La economía ecológica como la ciencia de la gestión de la sostenibilidad*. 2008.
71. Torres, C. *Exergoeconomía Simbólica. Metodología para el análisis termoeconómico de sistemas energéticos. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería*. 1991.
72. Torres, C. Valero, A., Serra, L., Royo, J. *Structural Theory and Thermo-economic Diagnosis. Part I: On Malfunction and Disfunction Analysis*. 1999.
73. unep.org. *Coastal Waters of the World: Trends, Threats and Strategies. Disponible en Internet: http://www.unep.org/outreach/wssd/docs/TM/tm_notes_and_resources.pdf1*. Washington, D.C : Island Press, 1998.
74. UNESCO.org. *Disponible en internet: http://www.unesco.org/water/wwap/index_es.shtm*. [En línea] 2008. [Citado el: 15 de mayo de 2012.]
75. Valdés, J.B. América y el agua. Disponible en Internet. *www.prodiversitas.bioetica.org/des43.htm*. [En línea] 2006. [Citado el: 23 de junio de 2012.]
76. Valero, A. y Torres, C. *Curso de doctorado de termoeconomía. Texto básico*. 2010.
77. Vasile LAVRIC. *Fresh-water minimization through constrained topology design with Genetic Algorithm*. University politehnica of Bucharest, centre for technology transfer in the process industries : Drd. Petrica IANCU, Prof. Valentin plesu., 2000.
78. VDI. *La asociación alemana de ingenieros, en conjunto con los representantes de la industria alemana, han desarrollado un documento acerca de la definición de costos de protección ambiental y otros términos de prevención de la contaminación*. 2000.
79. Vidal, Medina J.R. *Tesis en opción al grado de Master*. s.l. : MES. Educación, 2005.
80. Wang Y.P., Smith R. *Wastewater minimization. Disponible en Internet: http://www.extenza-eps.com/ICE/doi/ref/10*. s.l. : Chem. Eng. Science, 1994.
81. Wang, Y. P. & Smith, R. *Time Pinch Analysis. Trans I*. s.l. : Trans IChemE, 1995. 73A, 905-914.
82. Wang, YP y Smith R. *Diseño de Sistemas Distribuidos de Tratamiento de Efluentes*. s.l. : Chem. Eng. Sci, 1994. 49, 3127.
83. waterportal-america.org. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos.WWAP. *Disponible en Internet: http://www.waterportal-america.org*). [En línea] 2003. [Citado el: 23 de febrero de 2012 .]

ANEXOS

Anexo 1. Comportamiento histórico del consumo de agua en la refinería “Camilo Cienfuegos”

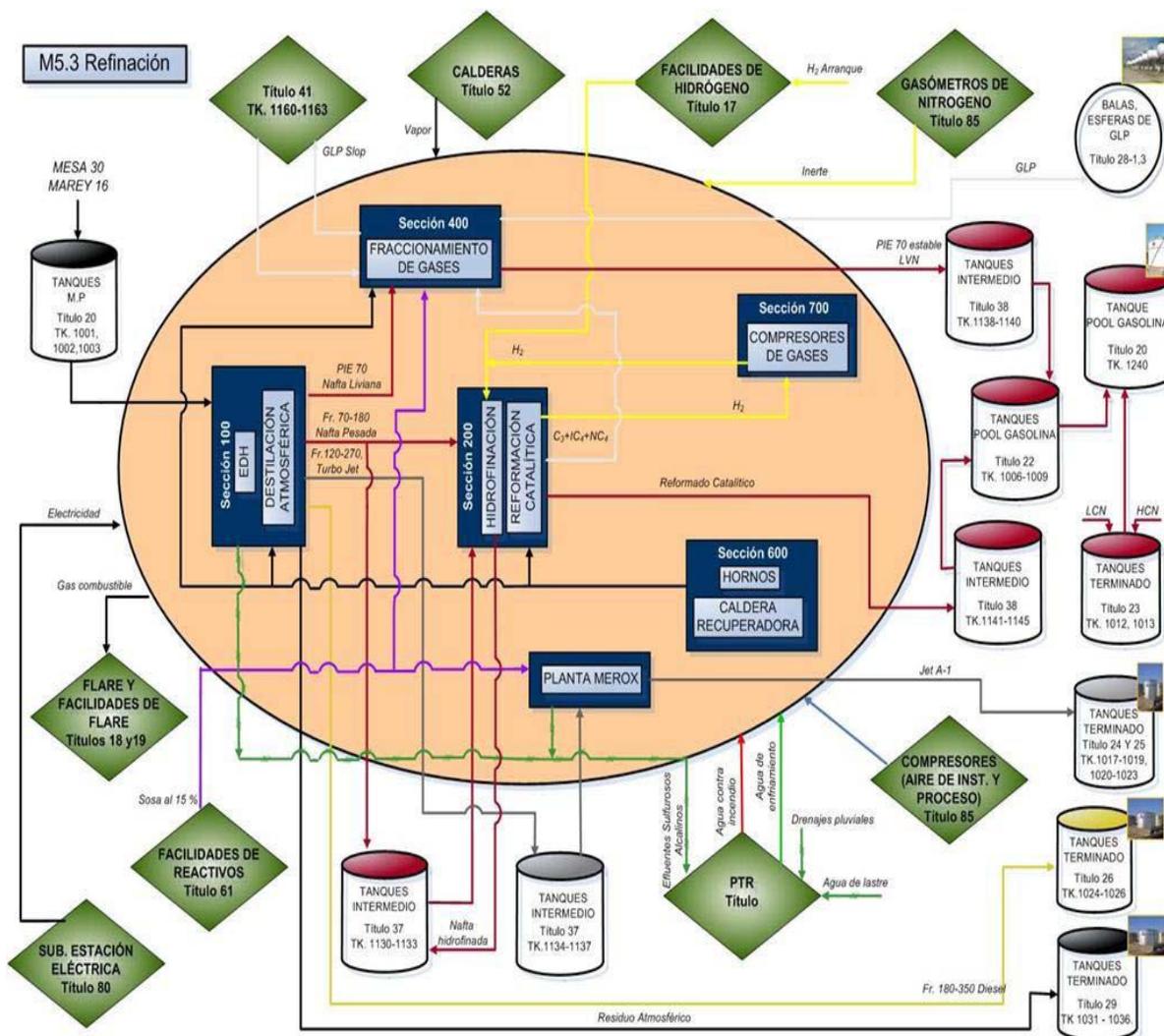
Año	Consumo agua (m³)	Acumulado (m³)	Promedio mensual (m³)
1993	832884	832884	69407
1994	868765	1701649	72397
1995	756817	2458466	63068
1996	627843	3086309	52320
1997	472450	3558759	39370
1998	946095	4504854	78841
1999	756486	5261340	63040
2000	464473	5725813	38706
2001	294670	6020483	24555
2002	198660	6219143	16555
2003	253255	6472398	21104
2004	158054	6630452	13171
2005	101632	6732084	8469
2006	83149	6815233	6929
2007	137170	6952403	11430
2008	762328	7714731	63527
2009	773910	8488641	64693
2010	779760	9268401	64980
2011	623578	9891979	51965

Anexo 2: Ventajas y desventajas de los modelos y herramientas usados para gestionar los sistemas de agua

Modelos y herramientas	Ventajas	Desventajas
Enfoque de tratamiento al final de tubería.	Minimiza los residuos a partir del tratamiento de los mismos.	No tiene en cuenta los costos, ni consumos energéticos
Tecnología <i>Pinch</i>	Basado en principios termodinámicos determina el mínimo de utilidades para el intercambio de calor. Determina la eficiencia térmica.	No tiene en cuenta los costos, ni consumos energéticos, no permite evaluar el impacto ambiental.
Tecnología <i>WaterPinch</i>	Derivada de la tecnología anterior es específica para el agua, permite determinar las aguas a ser reusadas para reducir residuos.	No tiene en cuenta los costos, ni consumos energéticos, no permite evaluar el impacto ambiental.
La fuente de agua y las curvas compuestas de demanda	Permite determinar mínimo consumo de agua fresca y mínima generación de residuales. Tiene en cuenta las concentraciones de las corrientes.	No tiene en cuenta los costos, ni consumos energéticos, no permite evaluar el impacto ambiental. Depende de los patrones de la mezcla.
Diagrama de excedente de agua en la selección del mínimo de agua fresca y las aguas residuales	Herramienta gráfica que tiene en cuenta los criterios de la anterior, pero puede crear todas las posibilidades de mezcla, por lo que determina el verdadero punto de pliegue.	No tiene en cuenta los costos, ni consumos energéticos, no permite evaluar el impacto ambiental.
Diagrama de red de agua para procesos continuos	Herramienta gráfica que permite minimizar los consumos de agua fresca y reducir los residuos, para procesos continuos.	El diseñador no puede visualizar cómo estos procesos se relacionan en el tiempo.
Redes generales de agua – tiempo	Maximiza la transferencia de masa por perfiles de concentración. Ahora se incluye el análisis de los procesos por lotes en cada intervalo de tiempo.	No tiene en cuenta los costos, ni consumos energéticos, no permite evaluar el impacto ambiental.

Continuación...		
Modelos y herramientas	Ventajas	Desventajas
Cascada de agua	Nueva representación gráfica donde se operan tanto los procesos continuos como los procesos por lote. Se tabula de forma natural.	No tiene en cuenta los costos, ni consumos energéticos, no permite evaluar el impacto ambiental.
Modelo Matemático propuesto por Carrión y López	Permite optimizar las redes de distribución de agua, aunque es un problema no lineal con numerosas variables.	El número de máximos locales es elevado. No comprende costos energéticos e impacto ambiental
Optimización de redes de distribución de Agua utilizando un algoritmo genético.	Trabajan a partir de una rica base de datos. Sólo necesitan el valor de la función objetivo asociada a cada punto del espacio de soluciones, para guiar su búsqueda.	Reduce la posibilidad de encontrar un óptimo local. No permite calcular el impacto ambiental.
La Gestión del Agua y su vinculación con el ahorro de energía.	Presenta herramientas que permiten determinar un uso racional del agua y su energía asociada.	No contempla los costos energéticos, ni los efectos ambientales asociados.
Análisis del Ciclo de Vida	Permite realizar un minucioso análisis del impacto ambiental durante la vida de un producto.	No contempla los costos medioambientales.
Huella Ecológica	Mide la demanda de la humanidad sobre la biosfera en términos del área de tierra productiva requerida para proporcionar los recursos que utilizamos y para absorber nuestros desechos.	Su principal problema radica en que no contempla el agua dentro de la huella ecológica.
Huella Hídrica del Consumo	Es análoga a la huella ecológica. Tiene en cuenta el impacto ambiental de determinadas regiones o grupos de países, por el exceso de consumo de agua.	No contempla los costos energéticos, ni la trazabilidad del agua en procesos industriales, por lo que no permite trazar políticas de ahorro.

Anexo 3. Esquema tecnológico de la planta combinada.



Anexo 4. Resultado de la técnica tormenta de ideas.

1. La insulación de las tuberías de vapor no es buena y provoca pérdidas de agua.
2. En operaciones no cuentan con un sistema de gestión para el agua.
3. No existe un método para contabilizar los costos ambientales del agua
4. La planta de tratamiento de condensado está fuera de servicio, por lo que no se recupera el mismo.
5. No se puede controlar desde el panel el cierre de las válvulas de salida en las líneas de vapor que van para el área de tanques y muelle.
6. La línea de condensado al desareador está en mal estado técnico.
7. Las tuberías de agua presentan salideros.
8. Las torres de enfriamiento presentan mal estado técnico
9. La planta de tratamiento de agua para calderas necesita mantenimiento
10. Necesidad de contabilizar el agua por procesos. No existen flujómetros suficientes en el proceso.
11. Sobredimensionado el sistema de generación de vapor, provoca excesos en el consumo de agua.

Anexo 5. Guía de observación.

1. Determinar y definir lo que se va a observar: Se realizará observación del sistema de distribución y uso del agua con el objetivo de comprobar su funcionamiento. Para esto se tendrá en cuenta: estado técnico de las tuberías y sus equipos auxiliares que intervienen en el proceso de refinación y generación de vapor. Se recorrerán las líneas fundamentales y secundarias del sistema de distribución del agua, se observará el grado de deterioro de la insulación de estas. Se observará para qué y cómo se consume el agua y el vapor en las diferentes áreas consumidoras. Se observará y comprobará la situación de los medios de medición existentes.
2. Estimar el tiempo necesario de observación: La observación se realizará durante un periodo de 21 días de trabajo con una frecuencia diaria.
3. Obtener la autorización de la gerencia para llevar a cabo la observación: Para realizar la observación del proceso se contó con la aprobación del jefe del área de generación de vapor y facilidades auxiliares Ing. Israel Martínez Mendoza, así como con la autorización de Juan Luis Artiles Jefe de la planta combinada.
4. Explicar a las personas que van a ser observadas lo que se va a hacer y las razones para ello: Individualmente se le explicó a cada trabajador del área el objetivo de la observación, solicitando su disposición y cooperación voluntaria.

Anexo 6. Guía para la entrevista.

Como usted conoce estamos realizando una investigación relacionada con el funcionamiento del sistema de distribución y uso del agua, al que denominamos proceso del agua, en el cual usted labora. En tal sentido le agradecemos nos dedique unos minutos de su preciado tiempo para responder algunas preguntas.

I. Cuestiones relacionadas con organización del proceso.

- 1.1 Conocimientos acerca de la organización del proceso
- 1.2 Conocimientos sobre el gráfico de control analítico, dígame: frecuencia de toma de la muestra, objetivos con que se realizan los análisis y estándares establecidos.
- 1.3 Conocimientos sobre sistema de estimulación y su relación con este sistema del vapor.
- 1.4 Metodologías para gestionar el consumo de agua y vapor. Estrategias para su consumo.
- 1.5 Conocimientos sobre la seguridad industrial.
- 1.6 Estado actual de la capacitación a los operadores.

II. Respecto al funcionamiento del proceso.

- 2.1 Precisión de los equipos registradores
- 2.2 Asimilación del cambio de tecnología
- 2.3 Relación con otros procesos y áreas funcionales
- 2.4 Sobre los indicadores de eficiencia y eficacia del proceso
- 2.5 Impacto del proceso en el medio ambiente.
- 2.6 Estado técnico de los equipos en explotación.
- 2.7 Planes de mantenimiento preventivo.
- 2.8 Conocimientos sobre medidas de ahorro.

III. Respecto a las relaciones formales de comunicación e intercambio de información.

- 1.1 Medios y vías de comunicación existente. Efectividad
- 1.2 Sistemas de influencia

Anexo 7 Fórmulas para el cálculo de ratios de ecoeficiencia.

Indicadores de consumo	
Consumo de agua de la Sección 100.	$\frac{m^3 \text{ de } H_2O}{\text{Producción en BBLs}}$
Consumo de agua de la Sección 200.	$\frac{m^3 \text{ de } H_2O}{\text{Producción en BBLs}}$
Consumo de agua de la Sección 400.	$\frac{m^3 \text{ de } H_2O}{\text{Producción en BBLs}}$
Consumo de agua de la Planta MEROX.	$\frac{m^3 \text{ de } H_2O}{\text{Producción en BBLs}}$
Indicadores de residuos y emisiones	
Generación de agua sulfhídrica de la Sección 100.	$\frac{m^3 \text{ de } H_2O \text{ sulfhídrica}}{\text{Producción en BBLs}}$
Generación de agua de lavado de crudo de la Sección 100.	$\frac{m^3 \text{ de } H_2O \text{ de lavado}}{\text{Producción en BBLs}}$
Generación de agua sulfhídrica de la Sección 200.	$\frac{m^3 \text{ de } H_2O \text{ sulfhídrica}}{\text{Producción en BBLs}}$
Generación de sulfurosos alcalinos de la Sección 400.	$\frac{m^3 \text{ de sulfurosos}}{\text{Producción en BBLs}}$
Generación de agua de pulga de caldera Sección 600.	$\frac{m^3 \text{ de } H_2O \text{ de lavado}}{\text{Producción en BBLs}}$
Generación de agua con hidrocarburos de la Planta MEROX.	$\frac{m^3 \text{ de } H_2O \text{ con hidrocarburos}}{\text{Producción en BBLs}}$
Generación de sulfurosos alcalinos de la planta MEROX.	$\frac{m^3 \text{ de sulfurosos}}{\text{Producción en BBLs}}$

Continuación...	
Indicadores genéricos de participación	
% de participación del turbo combustible.	$\frac{\text{BBLs de turbo combustible}}{\text{Producción en BBLs}}$
% de participación del diesel.	$\frac{\text{BBLs del diesel}}{\text{Producción en BBLs}}$
% de participación del fuel oil.	$\frac{\text{BBLs del fuel oil}}{\text{Producción en BBLs}}$
% de participación de la nafta virgen pesada.	$\frac{\text{BBLs de la nafta virgen}}{\text{Producción en BBLs}}$
% de participación de la nafta liviana.	$\frac{\text{BBLs de la nafta liviana}}{\text{Producción en BBLs}}$
% de participación del GLP (Gas licuado del petróleo).	$\frac{\text{BBLs del GLP}}{\text{Producción en BBLs}}$

Anexo 8. Indicadores de ecoeficiencia en las Secciones 100, 200, 400, 600 y la planta MEROX de la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos” de Cienfuegos.

INDICADORES DE CONSUMO

INDICADOR	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Consumo de agua de la Sección 100.	0.005340m ³ /BBLS	0.005137m ³ /BBLS	0.005310m ³ /BBLS
Consumo de agua de la Sección 200.	0.0005m ³ /BBLS	0.0005m ³ /BBLS	0.0005m ³ /BBLS
Consumo de agua de la Sección 400.	0.00102m ³ /BBLS	0.000986 m ³ /BBLS	0.001019 m ³ /BBLS
Consumo de agua de la planta MEROX.	0.000514m ³ /BBLS	0.000495 m ³ /BBLS	0.000512 m ³ /BBLS

INDICADORES DE RESIDUOS Y EMISIONES

INDICADOR	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Generación de agua sulfhídrica de la Sección 100.	0.000053 m ³ /BBLS	0.000051m ³ /BBLS	0.0000527 m ³ /BBLS
Generación de agua de lavado de crudo de la Sección 100.	0.0001055 m ³ /BBLS	0.0001015m ³ /BBLS	0.0001049 m ³ /BBLS
Generación de agua sulfhídrica de la Sección 200	0.0090 m ³ /BBLS	0.0090m ³ /BBLS	0.0090m ³ /BBLS
Generación de sulfurosos alcalinos de la Sección 400.	0.004351 m ³ /BBLS	0.004186m ³ /BBLS	0.00433 m ³ /BBLS
Generación de agua contaminada con pulga de caldera de la sección 600	0.06341m ³ /BBLS	0.06106 m ³ /BBLS	0.06305 m ³ /BBLS
Generación de agua con hidrocarburos de la planta MEROX.	0.05373 m ³ /BBLS	0.05169 m ³ /BBLS	0.05343 m ³ /BBLS
Generación de sulfurosos alcalinos de la planta MEROX.	0.0895 m ³ /BBLS	0.0861 m ³ /BBLS	0.0890 m ³ /BBLS

INDICADORES GENERICOS DE PARTICIPACIÓN DE LA SECCION 100.

INDICADOR	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
% de participación del turbo combustible.	10.420	10.417	10.418
% de participación del diesel.	21.370	21.3733	21.371
% de participación del fuel oíl.	49.7996	49.7995	49.7998
% de participación de la nafta virgen pesada.	14.6760	14.6955	14.6890
% de participación de la nafta liviana.	3.2383	3.2386	3.2389

INDICADORES GENERICOS DE PARTICIPACIÓN DE LA SECCIÓN 200

INDICADOR	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
% de participación de la nafta liviana.	0.016	0.016	0.016
% de participación del GLP (Gas licuado del petróleo).	0.016	0.016	0.016
% de participación del reformado estable gasolina 90 octano	0.043	0.041	0.043
% de participación del reformado estable gasolina 83 octano.	0.084	0.080	0.080

INDICADORES GENERICOS DE PARTICIPACIÓN DE LA SECCION 400.

INDICADOR	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
% de participación de la nafta liviana.	23.33	23.37	23.39
% de participación del GLP (Gas licuado del petróleo).	2.157	2.159	2.160

INDICADORES GENERICOS DE PARTICIPACIÓN DE LA PLANTA MEROX.

INDICADOR	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
% de participación del turbo jet.	10.39	10.42	10.41

Anexo 9 Lista de chequeos por medios medioambientales

<i>Categoría de costo/ gasto ambiental Agua residual</i>
1. Tratamiento de desechos y emisiones
1.1 Depreciación del equipamiento relacionado
<ul style="list-style-type: none"> • Depreciación de plantas de tratamiento del agua residual, por ejemplo rastrillos, desviaciones de aceite, filtros de arenas, instalación de limpieza en el lugar, nivel biológico • Contenidas en lugares de almacenaje para prevenir contaminación de aguas subterráneas.
1.2 Mantenimiento y materiales y servicios operativos
<ul style="list-style-type: none"> • Materiales operativos y energía para plantas de acuerdo con 1.1, para operación, inspección, servicio de reparaciones y mantenimiento. • Servicios de mantenimiento provistos externamente • Análisis y evaluación externos • Testeo, control y monitoreo externo
1.3 Personal
<ul style="list-style-type: none"> • Administrador de aguas residuales • Operación y mantenimiento de las instalaciones de aguas residuales • Análisis y evaluación internos • Testeo, control y monitoreo interno • Entrenamiento para tratamiento de agua y prevención • Cumplimiento con las leyes y los requerimientos corporativos • Cumplimiento con la documentación y notificación obligatorias
1.4 Tasas, impuestos y cargos
<ul style="list-style-type: none"> • Cargos de conexión • Cargos por entrada de aguas residuales a las plantas de alcantarillado público • Cargos por cumplimiento legal con leyes y regulaciones acerca de contaminación de agua. • Impuestos por extracción de agua, carga y cantidad de agua residual
1.5 Multas y penalidades
<ul style="list-style-type: none"> • Multas por falta de cumplimiento con las regulaciones de agua
1.6 Seguros para obligaciones ambientales
<ul style="list-style-type: none"> • Seguros por medidas sanitarias y compensación de disturbios y accidentes futuros, y daños causados por transporte.
1.7 Provisiones por costos de limpieza, remediación, etc.
<ul style="list-style-type: none"> • Provisiones por medidas de limpieza y compensación por disturbios y accidentes futuros • Provisiones para la limpieza de napas subterráneas • Provisiones para elevar a las plantas con tecnologías fin de caño a las tecnologías

actuales.
2. Prevención y gestión ambiental
2.1 Servicios externos para gestión ambiental
<ul style="list-style-type: none"> • Servicios legales y consultas externas en el área de gestión de aguas • Costo de entrenamiento, bibliografía y material de información
2.2 Personal para actividades generales de gestión ambiental
<ul style="list-style-type: none"> • Encuentros de la comisión de gestión, gerentes departamentales, otros empleados, y el equipo ambiental que reporta los temas relacionados • Medidas de control continuas o ocasionales, auditorías internas • Procesos administrativos, anuncios y encuestas • Entrenamiento interno y externo o adicional incluyendo costos de viaje • Incorporación de proyectos corporativos de ahorro de agua • Comunicación con vecinos/pescadores y otras comunicaciones externas
2.3 Investigación y desarrollo
<ul style="list-style-type: none"> • Investigación y desarrollo para prevención de aguas residuales y ahorros de agua
2.4 Gastos extras por tecnologías más limpias
<ul style="list-style-type: none"> • Costos adicionales en comparación con los de las actuales tecnologías, en particular procesos de prevención de aguas residuales • Depreciación de medidas de ahorro de agua y finalización de ciclos de agua
2.5 Otros costos de gestión ambiental
3. Valor de compra del material de las salidas de no-productos
3.1 Materias primas
<ul style="list-style-type: none"> • Valor de compra del material de materias primas que terminan como aguas residuales, por ejemplo, lúpulo y malta
3.2 Embalaje
<ul style="list-style-type: none"> • Valor de compra del material de embalaje que terminan como aguas residuales
3.3 Material auxiliar
<ul style="list-style-type: none"> • Valor de compra del material auxiliar que terminan como aguas residuales, por ejemplo azúcar, levadura
3.4 Material de operación
<ul style="list-style-type: none"> • Valor de compra del material de operación que terminan como aguas residuales, por ejemplo tinturas, agentes de limpieza, químicos
3.5 Agua
<ul style="list-style-type: none"> • Valor de compra del agua fresca que se libera como aguas residuales
4. Costos de procesamiento de la salida de no-producto
<ul style="list-style-type: none"> • Porción de los costos de personal, depreciación y material operativo en proporción a la

salida de no-productos
Σ Gastos ambientales
5. Ingresos ambientales
5.1 Subsidios, premios
<ul style="list-style-type: none"> • Costos de construcción y subsidios financieros para plantas de alcantarillado • Subsidios para limpieza de napas subterráneas
5.2 Otros ingresos
<ul style="list-style-type: none"> • Ingresos por plantas cloacales disponibles para empresas externas
Σ Ingresos ambientales
<i>Categoría de costo/ gasto ambiental Desechos</i>
1. Tratamiento de desechos y emisiones
1.1 Depreciación del equipamiento relacionado
<ul style="list-style-type: none"> • Plantas de separación de desechos, por ejemplo sistemas de separación de desechos, contenedores de recolección • Inversión en sitios de separación de desechos y sus construcciones, por ejemplo, tanques de contención, cajas de recolección, receptores, etiquetadores, costos de construcción de islas de recolección. • Plantas para tratamiento de desechos, por ejemplo instalaciones sanitarias, plantas de tratamiento químico, físico, plantas de desinfección, plantas de esterilización. • Plantas de secado para desechos mojados • Monitoreo relacionado con los desechos, instalaciones para documentación y laboratorio • Plantas para manipuleo de materiales operativos, por ejemplo grasa, dispositivos de enfriamiento • Equipamiento para procesos de seguridad para sustancias peligrosas y desechos. • Sistemas de transporte, por ejemplo, depreciación de camiones, tractores, contenedores para recolección y disposición, incluyendo equipamiento de seguridad tal como tanques de conversión de doble lado.
1.2 Mantenimiento y materiales y servicios operativos
<ul style="list-style-type: none"> • Materiales operativos y energía para plantas de acuerdo con 1.1, para operación, inspección, servicio de reparaciones y mantenimiento. • Servicios de mantenimiento provistos externamente • Análisis y evaluación externos • Testeo, control y monitoreo externo • Costos de transporte, por ejemplo para entrega de desechos a sitios de disposición o para ser reciclada • Alquiler de contenedores para recolección de desechos y sistemas de separación
1.3 Personal

<ul style="list-style-type: none"> • Administrador de desechos • Limpieza de lugares de recolección de desechos • Manipuleo interno de desechos, tales como recolección, compactado, secado, transporte interno de desechos • Análisis y evaluación internos • Testeo, control y monitoreo interno • Entrega de desechos a sitios de disposición o para reciclado • Entrenamiento corporativo para separación de desechos y prevención • Cumplimiento con regulaciones sobre desechos y con los requerimientos corporativos, por ejemplo creación de planes económicos de prevención de desechos. • Mantenimiento de registros para disposición de desechos peligrosos.
1.4 Tasas, impuestos y cargos
<ul style="list-style-type: none"> • Costo de disposición municipal y de desechos peligrosos incluídos los cargos por peso, alquiler del contenedor, destrucción del contenedor, etc. • Cargos y tasas por disposición de desechos (disposición pública de desechos) • Costos de reciclado de residuos tales como papel, material de embalaje, plásticos, desechos orgánicos, metal, etc. • Cargos por desechos y limpieza de sitios contaminados • Licencias por embalajes de productos • Cargos por permisos municipales relacionados con la gestión de desechos • Cargos por licencias y permisos para plantas de producción corporativas en conexión con el procesamiento de materiales peligrosos
1.5 Multas y penalidades
<ul style="list-style-type: none"> • Multas por falta de cumplimiento con las regulaciones acerca de desechos considerando su separación, monitoreo, transporte y disposición.
1.6 Seguros para obligaciones ambientales
<ul style="list-style-type: none"> • Seguros contra riesgos de accidentes durante el transporte de mercaderías o desechos peligrosos
1.7 Provisiones por costos de limpieza, remediación, etc.
<ul style="list-style-type: none"> • Provisiones para remediación de sobrecargas removidas en minería • Provisiones para la remoción de desechos y obligaciones de reciclado • Provisiones para elevar a las plantas con tecnologías fin de caño a las tecnologías actuales
2. Prevención y gestión ambiental
2.1 Servicios externos para gestión ambiental
<ul style="list-style-type: none"> • Servicios legales y consultas externas en el área de gestión de desechos • Costo de entrenamiento, bibliografía y material de información
2.2 Personal para actividades generales de gestión ambiental

<ul style="list-style-type: none"> • Encuentros de la comisión de gestión, gerentes departamentales, otros empleados, y el equipo ambiental que reporta los temas relacionados • Medidas de control continuas o ocasionales, auditorías internas • Procesos administrativos, anuncios y encuestas • Entrenamiento interno y externo o adicional incluyendo costos de viaje • Costo de diseño de productos para cambiar el diseño para reducir desechos • Costos de planeamiento para cambios en los procesos para reducir desechos • Planificación de respuestas de emergencia y entrenamiento referido a sustancias peligrosas.
2.3 Investigación y desarrollo
<input type="checkbox"/> Investigación y desarrollo para medidas de prevención de desechos.
2.4 Gastos extras por tecnologías más limpias
<ul style="list-style-type: none"> • Costos adicionales en comparación con los de las actuales tecnologías, en particular procesos de prevención de desechos
2.5 Otros costos de gestión ambiental
3. Valor de compra del material de las salidas de no-productos
3.1 Materias primas
<ul style="list-style-type: none"> • Valor de compra del material de materias primas que terminan como desechos
3.2 Embalaje
<ul style="list-style-type: none"> • Valor de compra del material de embalaje que terminan como desechos
3.3 Material auxiliar
<ul style="list-style-type: none"> • Valor de compra del material auxiliar que terminan como desechos.
3.4 Material de operación
<ul style="list-style-type: none"> • Valor de compra del material de operación que terminan como desechos, si no está ya contenido en 1.2
4. Costos de procesamiento de la salida de no-producto
<ul style="list-style-type: none"> • Cargos por costos de producción de acuerdo con el tratamiento del personal, depreciación y material operativo en proporción a la salida de no-productos
Σ Gastos ambientales
5. Ingresos ambientales
5.1 Subsidios, premios
<ul style="list-style-type: none"> • Costos de construcción y subsidios financieros para plantas de desechos relacionadas • Subsidios por gestión óptima de desechos
Ingresos por venta de materiales para reuso y reciclado (papel, embalaje, plásticos, vidrio, desechos biológicos, etc.
Σ Ingresos ambientales

Anexo 10. Operaciones realizadas para determinar los costos/gastos medioambientales internos según las listas de chequeos aplicadas

1.1 Depreciación del equipamiento relacionado por secciones:

Para analizar el gasto por depreciación del equipamiento relacionado que se debería asignar a cada uno de los productos, se tuvo en cuenta la depreciación generada por las bombas que emiten el agua residual de cada uno de los procesos.

Según la representación del ciclo de vida de los productos, se conoce que el agua residual transita a través de las bombas hasta P.T.R (Planta de tratamiento de residuales). Auxiliándonos de las tablas obtenidas anteriormente a partir de los datos reflejados en el balance de materiales se tiene que:

Sección 100: Determinación del total de m³ por cada producto.

Productos	Agua sulfhídrica (m ³)	Agua de lavado de crudo (m ³)	Total (m ³)
Nafta liviana	2,59	5,20	7,79
Turbo jet	17,01	33,91	50,92
Diesel	17,34	34,60	51,94
Fuel oil	39,30	78,26	117,56
Nafta virgen pesada	12,22	24,35	36,57
G.L.P(Gas licuado del petróleo)	4,08	7,56	11,64
Gasolina	3,97	8,18	12,14
Total	96,50	192,06	288,56

Para determinar el gasto por depreciación del equipamiento relacionado primero se determina la tasa de asignación del costo por depreciación por m³ de agua residual para calcular cuánto le corresponde a cada uno de los productos:

Sección 100: Depreciación de las bombas de S-100

$$\begin{aligned} \text{Tasa de depreciación de las bombas S - 100} &= \frac{\text{Depreciación de las bombas S - 100}}{\text{m}^3 \text{ de Agua Residual T - 101 y T - 102}} \\ &= \frac{22\,769,73 \text{ UM}}{288,56 \text{ m}^3} = 78,905 \text{ UM} / \text{m}^3 \end{aligned}$$

Luego se multiplica la tasa determinada por los m³ de agua residual que genera cada producto en el mes analizado, o sea:

Asignación de la depreciación de las bombas S-100 a cada Producto				
Productos	Volumen (m ³)		Tasa depreciación (UM/m ³)	Valor (UM)
Nafta Liviana	7,79	X	78,905	614,80
Turbo Jet	50,92	X	78,905	4017,97
Diesel	51,94	X	78,905	4098,46
Fuel Oil	117,56	X	78,905	9276,20
Nafta Virgen Pesada	36,57	X	78,905	2885,68
G.L.P(Gas licuado del petróleo)	11,64	X	78,905	918,58
Gasolina	12,14	X	78,905	958,04
				22 769,73

Nota: 1. Este procedimiento de cálculo se sigue para cada una de las plantas, siempre teniendo en cuenta los volúmenes de agua residual generada por producto según proceso en cada planta.

Sección 200: Determinación del total de m³ por cada producto.

Productos	Agua Sulfhídrica (m ³)	Total (m ³)
G.L.P (Gas licuado del petróleo)	1885,26	1885,26
Gasolina 90oct	4904,29	4904,29
Gasolina 83oct	9502,70	9502,70
Total	16292,25	16292,25

Depreciación de las bombas sección 200 = **3 864,86 UM**

Tasa de depreciación de las bombas de la sección 200 = 0,2372 UM/m³

Sección 400: Determinación del total de m³ por cada producto.

Productos	Sulfurosos Alcalinos (m ³)	Total (m ³)
G.L.P(Gas Licuado del Petróleo)	592,20	592,20
Nafta Liviana	533,00	533,00
Total	1125,20	1125,20

Depreciación de las bombas sección 400 = **4 841,06 UM**

Tasa de depreciación de las bombas de la sección 400 = 4,3024 UM/m³

Sección 600 (Caldera Recuperadora DK-601): Determinación del total de m³ por cada producto.

Productos	Agua de pulga de caldera (m ³)	Total (m ³)
Nafta liviana	2059,29	2059,29
Turbo combustible(Jet)	19307,27	19307,27
Diesel	19728,74	19728,74
Fuel oil	45967,78	45967,78
Nafta virgen pesada	13564,77	13564,77
G.L.P(Gas licuado del petróleo)	3474,91	3474,91
Gasolina 90 octanos	3854,92	3854,92
Gasolina 83 octanos	7469,39	7469,39
Total		115427,07

Depreciación de las bombas sección 600 = **5 682,46 UM**

Tasa de depreciación de las bombas de la sección 600 = 0,0492 UM/m³

MEROX: Determinación del total de m³ por cada producto.

Productos	Sulfurosos alcalinos (m ³)	Agua con hidrocarburos (m ³)	Total (m ³)
Turbo combustible. Jet A1	95116.01	67806.46	162922,47
Total			162 922,47

Depreciación de las bombas de Merox = **2 782,40 UM**

Tasa de depreciación de las bombas de Merox = 0,0171 UM/m³

Depreciación de la Planta de Tratamiento de Residuales (P.T.R)

Para analizar la depreciación que se debería asignar a cada uno de los productos, se tuvo en cuenta la depreciación de la P.T.R como inversión.

Depreciación de la planta PTR como inversión = **866 389,90 UM**

Tasa de depreciación de la planta PTR como inversión = $2,1507 \text{ UM/m}^3$

En la siguiente tabla se recogen los volúmenes de agua residual por productos para la planta de PTR.

Productos	Agua sulfhídrica (m ³)	Agua de lavado de crudo (m ³)	Sulfurosos alcalinos (m ³)	Agua contaminada con purga de caldera (m ³)	Agua con hidrocarburos (m ³)	Total (m ³)
Nafta Liviana	1888,70	6,85	4025,22	2059,29	-	7 980,06
Turbo Combustible(Jet)	32,28	64,25	162922,47	19307,27	97806,46	280 132,73
Diesel	32,99	65,65	19728,74	-	-	19 827,38
Fuel oil	76,86	152,97	-	45967,78	-	46 197,61
Nafta Virgen Pesada	22,68	45,14	-	13564,77	-	13 632,59
G.L.P(Gas Licuado del Petróleo)	1891,07	11,56	3895,73	3474,92	-	9 273,28
Gasolina 90 octanos	4910,74	12,83	-	3854,92	-	8 778,49
Gasolina 83 octanos	9515,18	24,86	-	7469,31	-	17 009,44
Total						402 831,58

Depreciación de las Bombas de Planta de Tratamiento de Residuales (P.T.R).

Para analizar la depreciación que se debería asignar a cada una de las aguas residuales, se tuvo en cuenta la depreciación de las bombas de P.T.R. Auxiliándonos de la tabla obtenida anteriormente a partir de los datos reflejados en el balance de materiales tenemos:

Depreciación de las bombas de PTR = **170 271,22 UM**

Volumen de agua residual manipulado por las bombas = 402 831,58 m³

Tasa de depreciación de las bombas de PTR = 0,4227

1.2 Mantenimiento, materiales y servicios operativos.

Gasto del material de la Planta de (P.T.R) (Sulfato de Alúmina)

Para analizar el gasto de material que se le debe asignar a cada uno de los productos, se tuvo en cuenta el gasto de sulfato de alúmina (Noviembre 2011) = **540,37UM**.

Además se conoce que el total de agua residual a PTR es 402 831,58 m³

Auxiliándonos de la tabla obtenida anteriormente, tenemos que:

$$\begin{aligned} \text{Tasa de Asignación de gasto de material P.T.R} &= \frac{\text{Gasto de Material PTR}}{\text{Total de Agua residual}} \\ &= \frac{540,37\text{UM}}{402\,831,58\text{ m}^3} = 0,0013\text{UM} / \text{m}^3 \end{aligned}$$

Asignación del Gasto de material a cada Producto				
Productos	Volumen (m³)		Tasa de asignación(UM/m³)	Valor(UM)
Nafta Liviana	7980,06	X	0,00135	10,34
Turbo Jet	280132,73	X	0,00135	377,75
Diesel	19827,38	X	0,00135	26,34
Fuel Oil	46197,61	X	0,00135	61,91
Nafta Virgen Pesada	13632,59	X	0,00135	17,97
G.L.P(Gas licuado del petróleo)	9273,28	X	0,00135	12,08
Gasolina 90 octanos	8778,49		0,00135	11,42
Gasolina 83 octanos	17009,44	X	0,00135	22,53
				540,37

Gasto de electricidad de la Planta de Tratamiento de Residuales (P.T.R)

Para analizar el gasto de electricidad que se debería asignar a cada uno de los productos, se tuvo en cuenta la electricidad consumida por la planta de tratamiento de residuales.

Auxiliándonos de la tabla obtenida anteriormente, tenemos que:

$$\text{Tasa de Asignación de gasto de electricidad P.T.R} = \frac{\text{Gasto de electricidad PTR}}{\text{Total de Agua residual}}$$

$$= \frac{228\,422,40\text{UM}}{402\,831,58\text{m}^3} = 0,5665\text{UM} / \text{m}^3$$

Asignación del Gasto de electricidad de PTR a cada Producto				
Productos	Volumen (m³)		Tasa de asignación(UM/m³)	Valor (UM)
Nafta Liviana	7980,06	X	0,5670	4526.82
Turbo Jet	280132,73	X	0,5670	158837.37
Diesel	19827,38	X	0,5670	11244.25
Fuel Oíl	46197,61	X	0,5670	26196.17
Nafta Virgen Pesada	13632,59	X	0,5670	7731.78
G.L.P(Gas licuado del petróleo)	9273,28	X	0,5670	5260.06
Gasolina 90 octanos	8778,49	X	0,5670	4979.53
Gasolina 83 octanos	17009,44	X	0,5670	9646.42
				228 422,40

Gasto de electricidad de las bombas de la sección 100 = **30526,88** UM

Volumen de agua residual sección 100 = 288,56 m³

T.de asignación de gasto de electricidad de las bombas de la sección 100 = 105,790 UM/m³

Nota: 2. Se sigue el mismo procedimiento descrito anteriormente y se considera el volumen de agua residual trabajado con anterioridad para cada sección.

Gasto de electricidad de las bombas de la sección 200 = **21 458,66** UM

Volumen de agua residual sección 200 = 16 992,25 m³

T.de asignación de gasto de electricidad de las bombas de la sección 200 = 1,263 UM/ m³

Gasto de electricidad de las bombas de la sección 400 = **6 852,67** UM

Volumen de agua residual sección 400 = 1 125,20 m³

T. de asignación de gasto de electricidad de las bombas de la S-400 = 6 090,179 UM/ m³

Gasto de electricidad de las bombas de la sección 600 = **7 452,46** UM

Volumen de agua residual sección 600 = 155 427,07 m³

T. de asignación de gasto de electricidad de las bombas de la sección 600 = 0,0479 UM/ m³

Gasto de electricidad de las bombas de Merox = **3 856,36 UM**

Volumen de agua residual de Merox = 162 922,47 m³

T.de asignación de gasto de electricidad de las bombas de Merox = 0,0236 UM/ m³

Gasto de salario de los trabajadores de la Planta de Tratamiento de Residuales (P.T.R)

Para analizar el gasto de salario de los trabajadores de P.T.R que se le debería asignar a cada producto, se tuvo en cuenta el salario mensual (noviembre 2011) de cada trabajador de dicha planta.

Retomando los datos por productos que obtuvimos anteriormente según el Balance de Materiales, tenemos que:

$$\text{Tasa de Asignación del Salario de jefe sector de agua} = \frac{\text{Gasto de Salario}}{\text{m}^3 \text{ de Agua Residual}}$$

$$= \frac{625,00\text{UM}}{402\,831,58\text{m}^3} = 0,0016\text{UM} / \text{m}^3$$

Asignación del Gasto de salario a cada Producto				
Productos	Volumen (m³)		Tasa de asignación (UM/m³)	Valor (UM)
Nafta Liviana	7980,06	X	0,00155	12,44
Turbo Jet	280132,73	X	0,00155	434,28
Diesel	19827,38	X	0,00155	30,82
Fuel Oíl	46197,61	X	0,00155	71,67
Nafta Virgen Pesada	13632,59	X	0,00155	21,22
G.L.P(Gas licuado del petróleo)	9273,28	X	0,00155	14,44
Gasolina 90 octanos	8778,49	X	0,00155	13,68
Gasolina 83 octanos	17009,44		0,00155	26,45
				625,00

Nota: 3. Se sigue el procedimiento anterior teniendo en cuenta los salarios de cada operario o técnico de esa planta. Se consideran los mismos volúmenes anteriores de la planta.

Volumen de agua residual de PTR = 402 831,58 m³

Salario tecnólogo “B” = **430,27** UM

Tasa de asignación de salario por producto = 0,0011 UM/ m³

Salario 4 jefes de sector agua y tratamiento = **1 661,33** UM

Tasa de asignación de salario por producto = 0,0041 UM/ m³

Salario 12 operadores “C” “3 por turno” = **4 260,85** UM

Tasa de asignación de salario por producto = 0,0106 UM/ m³

Salario 11 operadores “A” MAP (residuales) = **4 345,00** UM

Tasa de asignación de salario por producto = 0,0108 UM/ m³

Salario tecnólogo “A” = **573,86** UM

Tasa de asignación de salario por producto = 0,0014 UM/ m³

Salario programador de mantenimiento = **350,25** UM

Tasa de asignación de salario por producto = 0,0008 UM/ m³

Salario inspector de equipos técnicos = **385,00** UM

Tasa de asignación de salario por producto = 0,0009 UM/ m³

Salario especialista “B” A.I.T.= **447,41** UM

Tasa de asignación de salario por producto = 0,0011 UM/ m³

Salario Especialista de S.H.A = **495,00** UM

Tasa de asignación de salario por producto = 0,0012 UM/ m³

Valor de compra del material de las salidas de No – Productos

Este valor se determina como la suma de todas las pérdidas monetarias que se incurren por procesos por el desecho del material de materia prima que se libera como agua residual (Ver ciclo de vida y balance de materiales), esta suma total se multiplica por el valor de las Unidades Monetarias y se divide entre el valor de la cantidad de m³ procesados en el mes de noviembre de cada uno de los productos y el valor final sería la pérdida general de valor de compra de las materias primas que terminan como agua residual.

Agua sulfhídrica sección 100 = **311 748,55** UM; tasa valor de compra = 3230,554 UM/m³

Agua de lavado de crudo sección 100 = **467 719,52** UM; tasa v. de c.= 2435,278 UM/m³

Agua sulfhídrica sección 200 = **494 734,49** UM; tasa valor de compra = 30,366 UM/m³

Sulfurosos alcalinos sección 400 = **468 871,62** UM; tasa valor de compra=416,701 UM/m³

Sulfurosos alcalinos Merox = **658 201,95** UM; tasa valor de compra = 4,039 UM/m³

Agua con hidrocarburos Merox = **837 179,27** UM; tasa valor de compra = 5,139 UM/m³

Agua contaminada de pulga de sección 600 = **348 998,12** UM; tasa v.com.= 2,245 UM/m³

Valor de compra del material de las salidas de No – Productos.				
Agua sulfhídrica de la Sección 100				
Productos	Volumen (m³)		Tasa de valor (UM/m³)	Valor (UM)
Nafta Liviana	2,59	X	3230,554	8367,14
Turbo Jet	17,01	X	3230,554	54951,73
Diesel	17,34	X	3230,554	56017,83
Fuel Oil	39,30	X	3230,554	126960,79
Nafta Virgen Pesada	12,22	X	3230,554	39477,38
G.L.P(Gas licuado del petróleo)	4,08	X	3230,554	13180,67
Gasolina	3,96	X	3230,554	12793,01
	96,50	X	3230,554	311 748,55

Valor de compra del material de las salidas de No – Productos.				
Agua de lavado de crudo de la Sección 100				
Productos	Volumen (m³)		Tasa de valor (UM/m³)	Valor (UM)
Nafta Liviana	5,20	X	2435,278	12663,45
Turbo Jet	33,91	X	2435,278	82580,27
Diesel	34,60	X	2435,278	84260,63
Fuel Oil	78,26	X	2435,278	190584,85
Nafta Virgen Pesada	24,35	X	2435,278	59299,03
G.L.P(Gas licuado del petróleo)	7,56	X	2435,278	18410,71
Gasolina	8.18	X	2435,278	19920,58
	192.06	X	2 435,278	467 719,52

Anexo 11. Análisis termoeconómico de la propuesta de mejora.

a. Procedimiento para el cálculo del costo exergoeconómico de producción de vapor en la casa de caldera (Título 52) de la refinería de Cienfuegos

Partiendo de lo enunciado anteriormente la ecuación del costo de producción del vapor en un equipo de generación se plantea como:

$$Cp_{vs} = \frac{CE_{vs} * E_{vs}}{G_{vs}}$$

Cp_{vs} - Costo de producción del vapor saturado; $\frac{\$}{t}$

CE_{vs} - Costo exergético unitario del vapor; E_{vs} - Flujo exergético del vapor; kW

G_{vs} - Capacidad de producción de la caldera

Para el cálculo del costo exergético unitario del vapor

$$CE_{vs} = \frac{CE_{comb} + CE_{agua}}{\eta_{exerg}} + \frac{C_z}{E_{vs}}$$

CE_{comb} - Costo exergético del combustible; $\frac{\$}{kJ}$

CE_{agua} - Costo exergético del agua; $\frac{\$}{kJ}$; η_{exerg} - Eficiencia exergética, %

C_z - Costo zonal; $\frac{\$}{h}$

Para la realización de los análisis se construye el siguiente mapa topológico de la caldera.

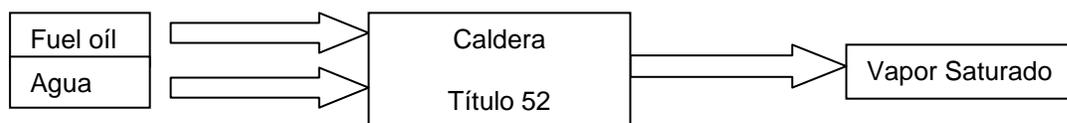


Figura 3.11.1 Esquema topológico de la producción de vapor de casa de calderas en la refinería “Camilo Cienfuegos”

Se considera como fuel o corrientes de entrada al combustible (fuel oíl) y al agua, mientras consideramos como producto, al cual vamos a hallar su costo al vapor de agua saturado.

1. Cálculo de la eficiencia exergética de la instalación

De cada una de las corrientes, tanto de los considerados fueles, como del producto se conoce sus condiciones físicas, como son: presión, temperatura, así como el flujo. Con

estos datos o parámetros y con el auxilio de las tablas de propiedades del vapor, se calculan los valores correspondientes de entalpía y entropía. Estos datos nos sirven para determinar la exergía y el flujo exergético de dichas corrientes.

Con la temperatura del combustible se calcula su entalpía según corresponda, y con esta y el valor calórico, además de calcular su calor disponible. A su vez con el calor disponible y el flujo correspondiente, se determina entonces, el flujo exergético del combustible en cada caso.

Una vez determinados los flujos exergéticos de cada una de las corrientes se puede determinar la eficiencia exergética de cada una de las calderas analizadas.

Se tomó como estado de referencia las condiciones de:

Temperatura= 303.16 °K (30 °C).

Presión= 101,32 kPa.

En la siguiente tabla se muestran las condiciones de operación para cada una de las cargas de las calderas que intervienen en el proceso.

Datos del proceso de generación de vapor en Casa de Caldera.

Caldera F-52-101-1 del tipo DE-25-14-225-M	Flujos de vapor. (t/h)				
	8.05	10.51	12.43	15.53	17.29
Temperatura del agua de alimentación (°C)	89.69	89.93	88.14	88.25	85.03
Flujo de fuel oíl (kg/h)	702.367	853.133	975.24	1060.14	1140.09
Temperatura fuel oíl. (°C)	122.1	120.3	124.3	120.6	118.7
C %	84	84	84	84	84
H ₂ %	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
S %	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
O ₂ %	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
N ₂ %	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
W %	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Purgas. %	23.9	15.0	13.1	10.0	9.5
Temperatura del vapor. (°C)	214.51	212.80	212.82	211.52	211.02
Temperaturas de los gases de salidas. (°C)	180.50	175.88	169.28	164.05	160.2
CO ppm	69	51	57	124	157
CO ₂ %	6.2	8.2	8.5	10.4	10.5
O %	12.7	10.3	9.5	7.4	6.7
Presión del vapor (kg/cm ²)	12.69	12.46	12.54	12.53	12.56
Entalpía del las purgas.	840.5	840.5	840.5	840.5	840.5
To. (°C)	30	30	30	30	30
h _{vs} (kJ/kg)	3005.39	2978.61	2981.71	2963.5	2956.5
h _o (kJ/kg)	125.68	125.68	125.68	125.68	125.68
S _{vs} (kJ/kg)	6.7422	6.6843	6.6906	6.6482	6.6325
S _o (kJ/kg)	0.4367	0.4367	0.4367	0.4367	0.4367
S _{agua} (kJ/kg)	1.4915	1.894	1.983	1.856	1.837
h _{agua} (kJ/kg)	666.26	658.66	672.17	645.54	638.82
Flujo de agua de alimentación (t/h)	10.51	13.72	16.23	20.27	23.05

1.1. Cálculo de la exergía del vapor saturado

$$b_{vs} = (h_{vs} - h^\circ) - T^\circ(s_{vs} - s^\circ)$$

Donde:

b_{vs} - exergía del vapor saturado; $\frac{kJ}{kg}$; h_{vs} - entalpía del vapor saturado; $\frac{kJ}{kg}$

h° - entalpía a las condiciones del estado de referencia; $\frac{kJ}{kg}$

T° - temperatura del estado de referencia; °K; s_{vs} - entropía del vapor saturado; $\frac{kJ}{kg^\circ K}$

s° - entropía a las condiciones del estado de referencia; $\frac{kJ}{kg^\circ K}$

$$b_{vs} = (2981,71 \frac{kJ}{kg} - 125,68 \frac{kJ}{kg}) - 303,16 \text{ }^\circ\text{K} (6,69 \frac{kJ}{kg^\circ K} - 0,43 \frac{kJ}{kg^\circ K}) = \mathbf{958,25 \frac{kJ}{kg}}$$

Cálculo del flujo exergético del vapor saturado

$$E_{vs} = e_{vs} * m_{vs}$$

E_{vs} - flujo exergético del vapor; kW ; m_{vs} - flujo del vapor saturado; $\frac{kg}{h}$

$$E_{vs} = \frac{958,25 \frac{kJ}{kg} * 12430 \frac{kg}{h}}{3600 \frac{seg}{h}} = 3308,62 kW$$

1.2 Cálculo de la exergía del agua de alimentar

$$b_{aa} = (h_{aa} - h^\circ) - T^\circ(s_{aa} - s^\circ)$$

Donde:

b_{aa} - exergía del agua de alimentar; $\frac{kJ}{kg}$; h_{aa} - entalpía del agua de alimentar; $\frac{kJ}{kg}$

h° - entalpía a las condiciones del estado de referencia; $\frac{kJ}{kg}$

T° - temperatura del estado de referencia; °K; s_{aa} - entropía del agua de alimentar; $\frac{kJ}{kg^\circ K}$

s° - entropía a las condiciones del estado de referencia; $\frac{kJ}{kg^\circ K}$

$$b_{aa} = (672,17 \frac{kJ}{kg} - 125,68 \frac{kJ}{kg}) - 303,16 \text{ K} (1,98 \frac{kJ}{kg^\circ K} - 0,43 \frac{kJ}{kg^\circ K}) = \mathbf{76,60 \frac{kJ}{kg}}$$

Cálculo del flujo exergético del agua de alimentar

$$E_{aa} = b_{aa} * m_{aa}$$

Donde:

E_{aa} - flujo exergético del agua de alimentar; kW ; m_{aa} - flujo del agua de alimentar; $\frac{kg}{h}$

$$E_{aa} = \frac{76.60 \frac{kJ}{kg} * 16230 \frac{kg}{h}}{3600 \frac{seg}{h}} = 345,33 kW$$

1.3 Cálculo del calor disponible del combustible (fuel-oíl)

$$C_c = 0,415 + 0,0006 * t_c$$

$$C_c = 0,415 + 0,0006 * 124 \text{ °C} = \mathbf{0,489}$$

$$h_{comb} = C_c * t_c$$

Donde:

h_{comb} - entalpía del combustible; $\frac{kJ}{kg}$; $h_{comb} = 0,489 * 124 \text{ °C}$

$$h_{comb} = 60,63 \frac{kcal}{kg} * 4,184 \frac{kJ}{kcal} = \mathbf{253,67 \frac{kJ}{kg}}$$

$$Q_d = VCS + h_{comb}$$

Donde:

Q_d - calor disponible del combustible; $\frac{kJ}{kg}$

Una primera aproximación para calcular la exergía del combustible es tomarla como su valor calórico superior, aunque existan procedimientos mucho más fiables o exactos, pero el escogido es calculado por software indicado específicamente para trabajos en refinerías, estos valores aparecen en los anexos.

VCS- valor calórico superior del combustible; $\frac{kJ}{kg}$

$$VCS_{fueloil} = 9500 \frac{kcal}{kg}$$

$$Q_d = (9500 \frac{kcal}{kg} * 4,184 \frac{kJ}{kcal}) + 253,67 \frac{kJ}{kg} = \mathbf{40001,67 \frac{kJ}{kg}}$$

Cálculo del flujo exergético del combustible (fuel-oíl)

$$E_{comb} = Q_d * m_{comb}$$

Donde:

E_{comb} - flujo exergético del combustible; kW ; m_{comb} - flujo del combustible; $\frac{kg}{h}$

$$E_{fcomb} = \frac{40001,67 \frac{kJ}{kg} * 975,24 \frac{kg}{h}}{3600 \frac{seg}{h}} = 10836,45 kW$$

1.4 Cálculo de la eficiencia exergética

$$\eta_{exerg.} = \frac{E_{vs}}{E_{aa} + E_{comb}}$$

$$\eta_{exerg.} = \frac{3308,62kW}{345,33kW + 10836,45kW} * 100 = 29,59\%$$

Cálculo del costo de producción del vapor saturado

2.1 Cálculo del factor de recuperación

$$FR = \frac{ir(1+ir)^{Ny}}{(1+ir)^{Ny} - 1}$$

Donde:

FR – Factor de recuperación; ir – Tasa de interés, %

Ny – Tiempo de vida útil para el equipo; años

$$FR = \frac{0,12(1 + 0,12)^{25}}{(1 + 0,12)^{25} - 1} \quad FR = 0,1275$$

2.2 Cálculo del costo zonal

$$C_z = \frac{FR}{t_{op}} * C_{inv}$$

Donde:

C_z - Costo zonal; $\frac{\$}{h}$; t_{op} – Tiempo de operación anual; $\frac{h}{año}$

C_{inv} - Costo de la inversión, Costo de la caldera; \$

$$C_z = \frac{0,1275}{3500 \frac{h}{año}} * \$417874,1 \quad C_z = 15,22 \frac{\$}{h}$$

2.3 Cálculo del costo exergético del combustible

$$CE_{comb} = \frac{P_{comb}}{Q_d}$$

Donde:

CE_{comb} – Costo exergético del combustible; $\frac{\$}{kJ}$; P_{comb} - Precio del combustible; $\frac{\$}{Lt}$

$$CE_{comb} = \frac{\frac{0,29 \frac{\$}{kg} * 1000 \frac{lt}{m^3}}{965 \frac{kg}{m^3}}}{40001,67 \frac{kJ}{kg}} \quad CE_{comb} = 7,51 * 10^{-6} \frac{\$}{kJ}$$

2.4 Cálculo del costo exergético del agua

$$CE_{agua} = \frac{P_{agua}}{e_{aa}} \quad e_{aa} = b_{aa} = 76.60 \frac{kJ}{kg}$$

Donde:

$$CE_{agua} - \text{Costo exergético del agua; } \frac{\$}{kJ}, P_{agua} - \text{Precio del agua; } \frac{\$}{m^3}$$

Costo del agua / mes = \$ 1414.57 1 mes= 720 horas

Costo químico / mes = \$ 88.36

Costo del agua / hora= 1414.57/ 720= \$ 1.96

Costo químico / hora= 88.36/720= \$ 0.12

Costo total del agua / hora= \$ 2.08

Costo total del agua en 1329 horas de operación= \$ 2604.84

Costo químico total en 1329 horas de operación= \$ 159.48

$$CE_{agua} = \frac{2.08 \frac{\$}{m^3} * \frac{1m^3}{1000kg}}{76.60 \frac{kJ}{kg}} \quad CE_{agua} = 0,000027 \frac{\$}{kJ}$$

2.5 Cálculo del costo exergoeconómico del vapor

$$CE_{vs} = \frac{CE_{comb} + CE_{agua}}{\eta_{exerg}} + \frac{C_z}{E_{vs}} \quad \text{Donde:}$$

CE_{vs} – Costo exergoeconómico del vapor; $\frac{\$}{kJ}$

$$CE_{vs} = \frac{0,00000751 \frac{\$}{kJ} + 0,000027 \frac{\$}{kJ}}{0,2959} + \frac{15,22 \frac{\$}{h} * \frac{1h}{3600seg}}{3308,62 \frac{kJ}{seg}}$$

$$CE_{vs} = 0,000117 \frac{\$}{kJ}$$

2.6 Cálculo del costo de producción del vapor saturado

$$Cp_{vs} = \frac{CE_{vs} * E_{vs}}{G_{vs}} \quad \text{Donde:}$$

Cp_{vs} - Costo de producción del vapor saturado; $\frac{\$}{ton}$.

$$C_{p_{vs}} = \frac{0,000117 \frac{\$}{kJ} * 3308.62 \frac{kJ}{seg} * \frac{3600seg}{1h}}{12430 \frac{kg}{h} * \frac{1ton}{1000kg}}$$

$$C_{p_{vs}} = 119,78 \frac{\$}{ton}$$

b. Procedimiento para el cálculo del costo exergoeconómico de producción de vapor en la caldera recuperadora (DK-600) de la refinería de Cienfuegos

Para la realización de este análisis se construye el siguiente mapa topológico de la caldera recuperadora (DK-600).

Se considera como fuel o corrientes de entrada al vapor saturado producido en el título 52 de 4 atm de presión y al agua químicamente tratada, mientras consideramos como producto, al cual vamos a hallar su costo al vapor de agua saturado que sale de esta caldera recuperadora (DK-600).

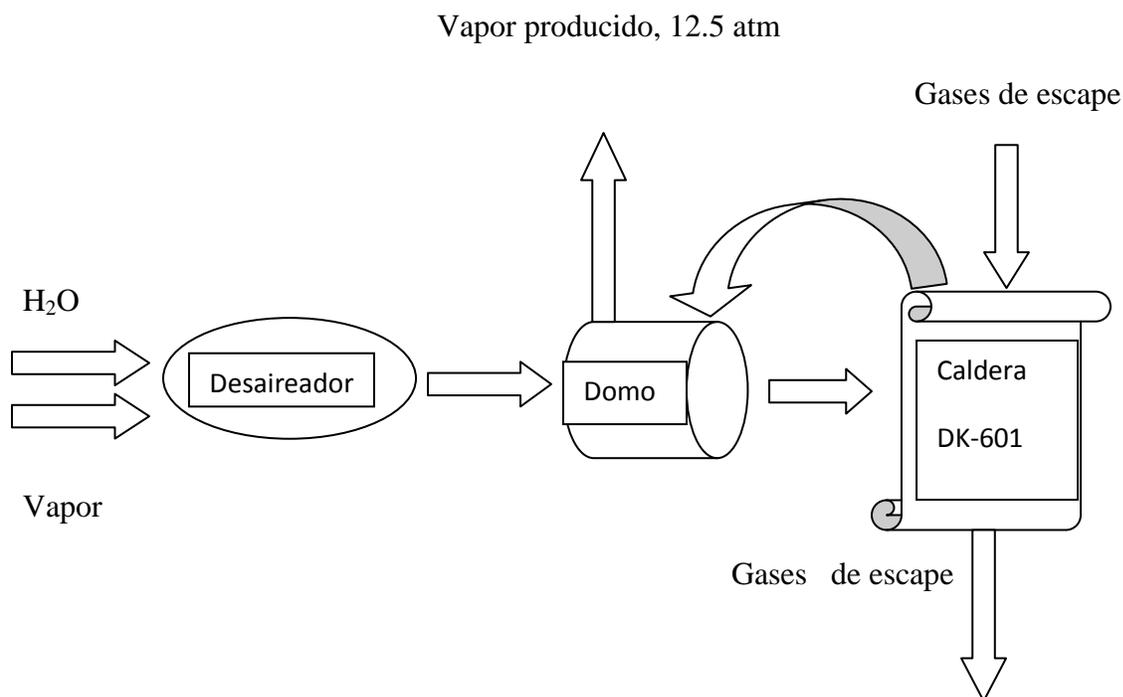


Figura 3.11.2 Esquema topológico de la producción de vapor de la calderas recuperadora de la refinería “Camilo Cienfuegos”

3. Cálculo de la eficiencia exergética de la instalación

3.1 Cálculo de la exergía del vapor saturado en la caldera recuperadora (DK-01), considerado como producto.

$$b_{vsp} = (h_{vsp} - h^{\circ}) - T^{\circ}(s_{vsp} - s^{\circ})$$

Donde:

$$b_{vsp} - \text{exergía del vapor saturado; } \frac{kJ}{kg}; \quad h_{vsp} - \text{entalpía del vapor saturado; } \frac{kJ}{kg}$$

$$h^{\circ} - \text{entalpía a las condiciones del estado de referencia; } \frac{kJ}{kg}$$

$$T^{\circ} - \text{temperatura del estado de referencia; } ^{\circ}\text{K}; \quad s_{vsp} - \text{entropía del vapor saturado; } \frac{kJ}{kg^{\circ}\text{K}}$$

$$s^{\circ} - \text{entropía a las condiciones del estado de referencia; } \frac{kJ}{kg^{\circ}\text{K}}$$

$$b_{vsp} = \left(2788,12 \frac{kJ}{kg} - 125,68 \frac{kJ}{kg} \right) - 303,16 \text{ K} \left(6,25 \frac{kJ}{kg\text{K}} - 0,43 \frac{kJ}{kg\text{K}} \right)$$

$$b_{vsp} = 897,95 \frac{kJ}{kg}$$

Cálculo del flujo exergético del vapor saturado considerado como producto.

$$E_{vsp} = e_{vsp} * m_{vsp}$$

$$E_{vsp} - \text{flujo exergético del vapor; } kW; \quad m_{vsp} - \text{flujo del vapor saturado; } \frac{kg}{h}$$

$$E_{vsp} = \frac{897,95 \frac{kJ}{kg} * 8810 \frac{kg}{h}}{3600 \frac{seg}{h}} = 2197,48 kW$$

3.2 Cálculo de la exergía del agua de alimentar

$$b_{aa} = (h_{aa} - h^{\circ}) - T^{\circ}(s_{aa} - s^{\circ})$$

Donde:

$$b_{aa} - \text{exergía del agua de alimentar; } \frac{kJ}{kg}; \quad h_{aa} - \text{entalpía del agua de alimentar; } \frac{kJ}{kg}$$

$$h^{\circ} - \text{entalpía a las condiciones del estado de referencia; } \frac{kJ}{kg}$$

$$T^{\circ} - \text{temperatura del estado de referencia; } ^{\circ}\text{K}; \quad s_{aa} - \text{entropía del agua de alimentar; } \frac{kJ}{kg^{\circ}\text{K}}$$

$$s^{\circ} - \text{entropía a las condiciones del estado de referencia; } \frac{kJ}{kg^{\circ}\text{K}}$$

$$b_{aa} = \left(439,15 \frac{kJ}{kg} - 125,68 \frac{kJ}{kg} \right) * 303,16 \text{ K} \left(1,44 \frac{kJ}{kg^{\circ}\text{K}} - 0,43 \frac{kJ}{kg^{\circ}\text{K}} \right) = 7,28 \frac{kJ}{kg}$$

Cálculo del flujo exergético del agua de alimentar

$$E_{aa} = b_{aa} * m_{aa}$$

Donde:

E_{aa} - flujo exergético del agua de alimentar; kW ; m_{aa} - flujo del agua de alimentar; $\frac{kg}{h}$

$$E_{aa} = \frac{7.28 \frac{kJ}{kg} * 10120 \frac{kg}{h}}{3600 \frac{seg}{h}} = 20,46 kW$$

3.3 Cálculo de la exergía del vapor saturado a la caldera recuperadora (DK-601), considerado como fuel.

$$b_{vsf} = (h_{vsf} - h^{\circ}) - T^{\circ}(s_{vsf} - s^{\circ})$$

Donde:

b_{vsf} - exergía del vapor saturado; $\frac{kJ}{kg}$; h_{vsf} - entalpía del vapor saturado; $\frac{kJ}{kg}$

h° - entalpía a las condiciones del estado de referencia; $\frac{kJ}{kg}$

T° - temperatura del estado de referencia; $^{\circ}K$; s_{vsf} - entropía del vapor saturado; $\frac{kJ}{kg^{\circ}K}$

s° - entropía a las condiciones del estado de referencia; $\frac{kJ}{kg^{\circ}K}$

$$b_{vsf} = \left(2919,45 \frac{kJ}{kg} - 125,68 \frac{kJ}{kg} \right) - 303,16 K \left(6,55 \frac{kJ}{kgK} - 0,43 \frac{kJ}{kgK} \right) = 938,44 \frac{kJ}{kg}$$

Cálculo del flujo exergético del vapor saturado considerado como fuel.

$$E_{vsf} = e_{vs} * m_{vs}$$

E_{vsf} - flujo exergético del vapor; kW ; m_{vsf} - flujo del vapor saturado; $\frac{kg}{h}$

$$E_{vsf} = \frac{938,44 \frac{kJ}{kg} * 36247,20 \frac{kg}{h}}{3600 \frac{seg}{h}} = 9448,83 kW$$

3.4 Cálculo de la eficiencia exergética

En esta caldera no se consume combustible alguno para producir vapor, pues para el intercambio calórico intervienen los gases de escape de los hornos que necesitan enfriarse antes de salir por la chimenea. Sin embargo al sistema entra como fuel una cantidad de vapor saturado de la casa de caldera del T-52 con una presión de 4 kgf/cm^2 para realizar el

desairado del agua químicamente tratada que entra conjuntamente como fuel. Por lo tanto para el cálculo de la eficiencia exergética de la misma se tomará como E_{comb} el cálculo del E_{vs} que se estimó como fuel, o sea:

$$\eta_{exerg.} = \frac{E_{vsp}}{E_{aa} + E_{vsf}} \quad E_{comb} = E_{vsf}$$

$$\eta_{exerg.} = \frac{2197,48kW}{20,46kW + 9448,83kW} * 100 = 23,21\%$$

3.5 Cálculo del costo de producción del vapor saturado en la caldera DK-601

3.5.1 Cálculo del factor de recuperación

$$FR = \frac{ir(1+ir)^{Ny}}{(1+ir)^{Ny} - 1}$$

Donde:

FR – Factor de recuperación; ir – Tasa de interés, %

Ny – Tiempo de vida útil para el equipo; años

$$FR = \frac{0,12(1 + 0,12)^{25}}{(1 + 0,12)^{25} - 1} \quad FR = 0,1275$$

3.5.2 Cálculo del costo zonal

$$C_z = \frac{FR}{t_{op}} * C_{inv}$$

Donde:

C_z - Costo zonal; $\frac{\$}{h}$; t_{op} – Tiempo de operación anual; $\frac{h}{año}$

C_{inv} - Costo de la inversión, Costo de la caldera; \$

$$C_z = \frac{0,1275}{3500 \frac{h}{año}} * \$525486,1 = \quad C_z = 19,14 \frac{\$}{h}$$

3.5.3 Cálculo del costo exergético vapor saturado asumido como fuel.

$$CE_{vsf} = \frac{P_{vsf}}{Q_d}$$

Donde:

CE_{vsf} – Costo exergético del combustible; $\frac{\$}{kJ}$; P_{vsf} - Precio del combustible; $\frac{\$}{Lt}$

$$CE_{vsf} = \frac{\frac{0,56 \frac{\$}{kg} * 1000 \frac{lt}{m^3}}{965 \frac{kg}{m^3}}}{40001,67 \frac{kJ}{kg}} \quad CE_{vsf} = 0,00000145 \frac{\$}{kJ}$$

Cálculo del costo exergético del agua: $CE_{agua} = 0,000027 \frac{\$}{kJ}$

3.5.4 Cálculo del costo exergoeconómico del vapor

$$CE_{vs} = \frac{CE_{comb} + CE_{agua}}{\eta_{exerg}} + \frac{C_z}{E_{vs}}$$

Donde:

CE_{vs} - Costo exergoeconómico del vapor; $\frac{\$}{kJ}$

$$CE_{vs} = \frac{0,00000145 \frac{\$}{kJ} + 0,000027 \frac{\$}{kJ}}{0,2321} + \frac{19,14 \frac{\$}{h} * \frac{1h}{3600seg}}{2197,48 \frac{kJ}{seg}}$$

$$CE_{vs} = 0,0000124 \frac{\$}{kJ}$$

3.6 Cálculo del costo de producción del vapor saturado

$$Cp_{vs} = \frac{CE_{vs} * E_{vs}}{G_{vs}}$$

Donde:

Cp_{vs} - Costo de producción del vapor saturado; $\frac{\$}{ton}$

$$Cp_{vs} = \frac{0,0000124 \frac{\$}{kJ} * 9448,83 \frac{kJ}{seg} * \frac{3600seg}{1h}}{8810 \frac{kg}{h} * \frac{1ton}{1000kg}}$$

$$Cp_{vs} = 47,88 \frac{\$}{ton}$$