

**UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
“OSCAR LUCERO MOYA”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**ALTERNATIVAS PARA LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO
ENERGÉTICO EN EL PROCESO DE PURIFICACIÓN DE
AGUA EN LAS UNIDADES DE SALUD HOLGUINERAS**

**Tesis para optar por el grado académico de Máster en
Eficiencia Energética**

Autor: Prof. Asist., Ing. Orlando Lorenzo Albert Disotuar

Tutor: Prof. Aux., Ing. Ibet Ayón Romero, MS.c.

**HOLGUÍN
2010**

DEDICATORIA

A mi padre, quien disfrutaba a satisfacción mis logros académicos y a todos lo que han contribuido a convertir en realidad, un sueño.

AGRADECIMIENTOS:

Reconocer la ayuda y el apoyo incondicional brindado por un grupo de profesionales, familiares y amigos en la realización de esta investigación a ellos mis más sinceros agradecimientos:

A Ibet Ayón, que dedicó incontables horas como guía y brindando una serie de elementos que hicieron posible la culminación de este trabajo.

A todos los profesores de esta maestría por todo el conocimiento transmitido en el camino de las ciencias.

A mi familia por todo el apoyo brindado

Al Hospital Pediátrico Provincial de Holguín, en especial a su dirección administrativa por todo el apoyo brindado en el desempeño de esta maestría.

A todas aquellas personas que de una forma u otra han contribuido en esta investigación

A todos:

MUCHAS GRACIAS!

RESUMEN

En la actualidad, existe una forma de solucionar los problemas energéticos la cual está estrechamente relacionado a los análisis medio ambientales, por lo que el autor al evaluar la destilación convencional de agua, utilizada en las unidades de salud de la provincia de Holguín, utiliza las técnicas de las Producciones Más Limpias para analizar el proceso, demostrando mediante el balance energético realizado que estos equipos son altos consumidores de energía por naturaleza, pero que además tienen un deterioro de su eficiencia energética por el accionar de las incrustaciones y la variaciones del criterio de diseño, introducida en su instalación. Esto provoca que se consuma un 80 % más de energía que la necesaria; por lo que el autor aplicando las técnicas de prevención ambiental integrada, evalúa las alternativas; como las buenas practicas de producción, el reuso de los residuales y el cambio de tecnología con las cuales se logra disminuir los consumos energéticos entre el 40 y el 95 % del consumo actual, pero además influyen en la disminución del consumo de agua en más de un 80 % y la reducción de la contaminación generada en la fuente generadora de energía.

TABLA DE CONTENIDO

	INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1	SITUACIÓN DE LA ENERGÍA, LAS TÉCNICAS DE PROTECCIÓN MEDIO AMBIENTALES Y EL AGUA CON SUS PROCESOS DE PURIFICACIÓN.	8
1.	Marco teórico conceptual	8
1.1	La energía	8
1.1.1	La Revolución Energética en Cuba.	12
1.2	Antecedentes medios ambientales y PML.	13
1.3	El agua	15
1.3.1	La purificación de agua	16
1.3.1.1	Niveles de calidad del agua	16
1.3.2	La destilación	17
1.3.3	Leyes fundamentales que intervienen en la destilación	19
1.3.3.1	Balance de masa de un sistema	19
1.3.3.2	Balance de componentes en una mezcla	20
1.3.3.3	Balance del volumen de un sistema	20
1.3.3.4	Balance de energía de un sistema	21
1.4	Estadística	22
1.4.1	Correlación y regresión.	24
1.5	Conclusiones del capítulo	24
CAPITULO 2	EVALUACIÓN ENERGÉTICA, HÍDRICA Y AMBIENTAL DE LOS SISTEMAS DE PURIFICACIÓN DE AGUA DE LA PROVINCIA HOLGUÍN Y SUS PROPUESTAS PARA MEJORARLAS.	26
2.1.1	Materiales y métodos utilizados en de la investigación.	26
2.1.2	Diseño del experimento investigativo.	27
2.1.2.1	Definición y operatividad de las variables.	27
2.1.2.2	Consideraciones para el análisis energético	29
2.1.2.3	Definición de la muestra a tomar.	30
2.1.3	Balance energético	31
2.1.3.1	Balance energético de un sistema abierto	31

2.1.3.2	Evaluación energético teórico, del destilador convencional de agua.	35
2.2	Evaluación de los consumos energéticos para la destilación convencional de agua y propuesta para disminuirlos.	38
2.2.1	Caracterización de la purificación de agua en la provincia Holguín.	39
2.2.2	Evaluación teórica de los destiladores.	39
2.2.2.1	Cálculo de la energía para la evaporación del volumen a destilar.	39
2.2.2.2	Cálculo de las pérdidas por las paredes del destilador.	40
2.2.2.3	Cálculo del consumo de agua y la energía asociada	42
2.2.2.4	Cálculo teórico del consumo total de energía de un destilador	43
2.2.3	Cálculos de los consumos reales de los destiladores instalados en la provincia Holguín	45
2.2.3.1	Cálculo de los consumos energéticos reales	45
2.2.3.2	Cálculo real del consumo de agua y la energía asociada	46
2.2.3.3	Cálculo del consumo total de un destilador en Holguín	47
2.2.4	Análisis de los elementos que inciden en el exceso de consumo	48
2.2.4.1	Evaluación de la incidencia del grado de incrustación	49
2.2.4.2	Evaluación de la incidencia del grado de separación del criterio de diseño.	51
2.2.5	Evaluación ambiental	53
2.2.5.1	Evaluación ambiental teórica	53
2.2.5.2	Valoración ambiental real	56
2.2.6	Valoración total del sistema de destilación provincial.	56
2.3	Posibilidades de solución para el alto consumo energético de los destiladores convencionales	58
2.3.1	Buenas prácticas de producción	59
2.3.2	Reutilización de los residuales	60
2.3.3	Cambio de tecnología.	60
2.3.3.1	Ósmosis inversa	61
2.3.3.1.1	Evaluación energética de la ósmosis	64

2.3.3.1.2	Evaluación ambiental de la ósmosis	65
2.3.3.1.3	Evaluación económica.	65
2.4	Comparación de tecnología	68
2.5	Conclusiones del capítulo	68
	CONCLUSIONES	70
	RECOMENDACIONES	71
	ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

El problema del desarrollo y la sostenibilidad se están redefiniendo, considerando al **petróleo y al agua** como principales recursos naturales, portadores energéticos y materias primas para la producción de alimentos y demás soluciones a las necesidades crecientes de la sociedad [3]. Hablar de petróleo y agua es hablar de energía, de producción de alimentos, de extracción de minerales, de bienestar, etc. Lo que muestra que la sociedad global depende de esos productos para su subsistencia.

El inicio del tercer milenio representa para la humanidad, la encrucijada de una nueva elección energética frente al agotamiento de estos recursos por una parte, pero sobre todo, por la amenaza de una catástrofe ecológica, al rebasarse los límites de la capacidad del planeta para asimilar los impactos negativos de un uso desmedido de ellos.

Esto ha llevado al mundo a una crisis energética, la cual está estrechamente ligada a la crisis medio ambiental en la que está sumergido el planeta donde el agua es tratada como un portador energético, por lo que las acciones que se tomen para diagnosticar, disminuir o erradicar los efectos energéticos negativos y el uso indiscriminado de los recursos hídricos; están también encaminados a dar soluciones a los problemas ambientales estrechamente ligados a ellos. Por esta razón hoy se habla en todas las esferas, del desarrollo sostenible; y aunque en realidad, las únicas alternativas energéticas, verdaderamente sostenibles, son la sustitución de fuentes convencionales que utilizan combustibles fósiles, por fuentes renovables como lo plantean algunos autores [3], [4], también la eficiencia energética es una alternativa esencial, tanto por su efecto directo en la disminución de los consumos, como por lo que la misma puede contribuir a lograr el relevo de la energía convencionales por las energías renovables.

La eficiencia energética implica lograr un nivel de producción o servicios, con los requisitos establecidos por el cliente, con el menor consumo y gasto energético posible, y la menor agresión al medio ambiente [22]. Por lo que el ahorro de energía, si bien no representa una fuente de energía en sí, se considera como

tal, ya que ofrece la posibilidad de satisfacer más servicios energéticos como plantea la literatura [3], [4], [42], lo que es equivalente a disponer de más energía.

Tradicionalmente en Cuba, la evaluación de los equipos médicos se ha realizado desde el punto de vista técnico-funcional y operacional-resolutivo; pero desde el punto de vista energético no han sido objeto de estudio minucioso, sólo han sido categorizados algunos como altos consumidores de energía y en muy pocos casos se han detenido al análisis de las causas que lo originan como lo el tema tratado en la bibliografía [12], [13], donde solo tienen en cuenta su función y diseño.

En los momentos actuales, con la globalización de la crisis energética, medio ambiental y financiera, ya se comienza a evaluar la repercusión de estos equipos en los gastos energéticos y económicos de las instituciones de salud, pero es escasa la literatura en que se hace referencia al análisis energético del equipamiento y solo se clasifican como altos consumidores.

Ya desde 1998 el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente ha venido realizando esfuerzos para promover, introducir e implementar, en los sectores de la economía cubana, alternativas para el incremento de la eficiencia energética y la prevención de la contaminación como elementos estrechamente relacionados. Se han brindado métodos de reutilización de residuales; y métodos que, a partir de técnicas aplicadas, logran disminuir los residuos y emisiones, esta última conocida como estrategias de Producciones Más Limpias (PML), [44]. lo cual ha sido definido como la aplicación continua de una estrategia preventiva, integrada a los procesos, producciones o servicios, para incrementar la eficiencia de los procesos, reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente; además de lograr la sostenibilidad del desarrollo económico. Teniendo como aspecto común con el interés de este trabajo, la pretensión de hacer más con menos; es decir, producir más, usando menos entradas de agua, energía, al mismo tiempo que se reduce la generación de residuos y emisiones en la fuente de generación.

En la bibliografía [23], se recoge la obtención de los datos del proceso o empresa a diagnosticar como uno de las principales etapas, el autor investigó y obtuvo los datos de la actividad de Electromedicina en la provincia Holguín, mediante el diagnóstico energético del equipamiento médico de la provincia, [1] donde el Inventario de equipos médicos con que cuenta el Centro Provincial de Electromedicina, y las documentaciones técnicas de cada uno de los equipos constituyeron una herramienta muy adecuada para el análisis y estudio de los procesos más influyentes en los consumos, donde se pudo constatar que la provincia Holguín cuenta con un total de 7582 equipos médicos repartido en 9 especialidades técnicas repartida en los 14 municipios de la provincia [1].

Observando que entre las diferentes especialidades de Electromedicina, existen dos que agrupan los mayores consumos de energía del sistema con un 86,7 % del consumo total. Destacándose la especialidad de Esterilización como la más consumidora con un consumo de 4652,95 kW/h que representa el 55,74 % del consumo general. Teniendo en cuenta además que los equipos altamente consumidores, de la especialidad de Imagenología, son los rayos x, y como toman energía instantáneamente de la red, los consumos energéticos totales son muy pequeños comparados con los equipos de esterilización que trabajan largas jornadas diarias, proyectándose el estudio hacia esta especialidad [1].

Dentro de la especialidad de esterilización los equipos más numerosos son las autoclaves con 582, pero los mayores consumidores son los destiladores convencionales de agua que en un número de 113 presentan un consumo promedio de alrededor de 10 kW/h por unidad, que unido a los altos periodos diarios de explotación se convierten en los equipos médicos mayores influyentes en los consumos energéticos de alrededor de 3 500 000 kW al año lo que requiere de una atención diferenciada, [1].

Además se constató que los destiladores son altos consumidores de agua la cual se utiliza como flujo refrigerante para sustraer el calor contenido en el vapor y volver a convertirlo en agua, consumiéndose cantidades que están por encima de 110 000 m³ al año.

Todo lo expuesto anteriormente ofreció elementos suficientes para identificar como situación problemática los altos consumos hídricos y energéticos del proceso de purificación de agua de las unidades de salud de la provincia.

La búsqueda de una respuesta científica a los aspectos anteriormente señalados, que contribuyera con aportes para fomentar el ahorro en los procesos de purificación de agua de las unidades de salud de Holguín, conllevó al planteamiento del problema de investigación.

Problema de investigación

¿Cómo disminuir los altos consumos energéticos e hídricos del proceso de purificación de agua utilizado en las unidades de salud de la provincia Holguín?

Objeto y campo de la investigación

Como objeto de la investigación se consideró la purificación de agua y como el campo de investigación, los destiladores convencionales de agua.

Con la finalidad de responder al problema planteado se traza el siguiente objetivo general

Objetivo general de la investigación:

Disminuir los altos consumos energéticos e hídricos del proceso de purificación de agua y su influencia en el medio ambiente y la economía de las unidades de salud de la provincia Holguín.

Teniéndose como hipótesis para esta investigación la siguiente.

La hipótesis:

“Al aplicar las técnicas de PML se puede modificar el proceso de purificación de agua en las unidades de salud de la provincia de Holguín lo que permitirá disminuir los altos consumos energéticos e hídricos de estas unidades y con ello disminuir sus impactos ambientales negativos”.

Para lograr responder a las necesidades de la investigación se trazaron las siguientes tareas.

Tareas de la investigación.

1. Revisión bibliográfica y obtención de fundamentos teóricos relacionado al tema,
2. caracterización del proceso de purificación de agua utilizado en las unidades de salud de Holguín, como proceso alto consumidor, y de esta forma obtener elementos que permitan evaluar las potencialidades de ahorro de dicho proceso,
3. elaboración de las propuestas que contribuyan a mejorar los índices de consumos energéticos e hídricos que influyan en los impactos ambientales y financieros con respecto al proceso actual,
4. confección del informe

Se utilizaron los siguientes métodos de investigación en este trabajo

- Teórico:
 - El histórico – Lógico (para facilitar el estudio de la trayectoria del tema teniendo en cuenta las investigaciones preliminares)
 - El análisis - síntesis (para analizar las diferentes partes y cualidades del proceso)
 - Dialéctico (para evaluar las contradicciones del uso de la destilación)
 - El hipotético - deductivo (para comprobar la hipótesis de trabajo)
- Empírico
 - La observación (Para obtener información acerca del comportamiento de diferentes elementos en el proceso)
 - El análisis documental (que permita obtener los datos necesarios para las evaluaciones).
 - La triangulación (Se utilizó para valorar integradamente la información de diferentes fuentes.
- El estadístico (que permite analizar, procesar y extraer información de los datos obtenidos)

Fundamentos metodológicos

Se realizó una investigación técnica, económica y ambiental aplicada al proceso de purificación de agua en las instituciones de salud de la provincia Holguín; la cual, para responder al objetivo formulado en el diseño de la investigación, se enmarcó en tres aspectos fundamentales:

- a) El análisis de los antecedentes y la evolución histórica de los procesos de purificación de agua así como la inserción de la destilación como proceso de purificación en las instituciones de salud.
- b) La evaluación energética del proceso de destilación y su repercusión económica y ambiental
- c) La evaluación de propuestas que contribuyan a disminuir el consumo energético de la purificación de agua en estas unidades, haciendo el proceso más eficiente energéticamente.

Actualidad

El estudio del comportamiento de los destiladores de la provincia Holguín posibilita mejorar el consumo energético e hídrico del proceso acorde a las pretensiones del desarrollo sostenible, sustentado en aportes prácticos, económicos, metodológicos.

Aportes prácticos:

- Se mejora la eficiencia de la purificación de agua en las unidades de salud de Holguín ahorrando más del 95 % de la energía consumida.
- Se disminuye la contaminación ambiental de CO₂, NO₂ y SO₂ en más de un 95% en la generación y se ahorran más de 80 000 m³ de agua
- Brinda un procedimiento específico para la realización de un balance energético a la destilación.
- Obtención de los valores de consumo reales de los destiladores instalados en las unidades de salud de la provincia de Holguín para las toma de decisiones.

Aportes metodológicos:

- Utilidad metodológica del manual de Guía de Buenas Practica, para desarrollar intervenciones diagnósticas en los procesos de destilación convencional de agua.

Aportes económicos:

- Económicamente, contribuirá a reducir las pérdidas de recursos ocasionadas por la ineficiencia de los procesos de destilación.

En el capítulo uno de este trabajo se desarrolla una cronología de la situación internacional y nacional de los fundamentales aspectos que requieren análisis para evaluar y proponer medidas técnicamente justificadas que permitan disminuir el consumo energético de la purificación de agua en el sistema de salud holguinero. También se analizan los antecedentes energéticos y medios ambientales así como las metodologías preventivas integradas de protección al medio ambiente donde se destaca las PML como estrategia utilizada por el autor para lograr su objetivo. Además se evalúa el agua como producto final de los procesos de purificación, donde se analizan los distintos tipos de calidades oficialmente aceptadas y que existen como normas en Cuba.

En el capítulo dos se realiza el diseño estadístico del experimento mediante el cual se podrá obtener los datos reales de consumo de agua y energía así como las pérdidas del proceso, además se realiza un balance energético, el cual brindará los parámetros necesarios a considerar. Posteriormente se hace una evaluación de los consumos teóricos, la contaminación equivalente al consumo que generan los destiladores, que permite al autor realizar un cuadro comparativo y finalmente se evalúan diferentes alternativas como son la aplicación de buenas prácticas de producción y la reutilización de los residuales que se pueden aplicar para la disminución de los consumos y el cambio de tecnología como solución superior al problema. El trabajo cuenta además con conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO 1: SITUACIÓN DE LA ENERGÍA, LAS TÉCNICAS DE PROTECCIÓN MEDIO AMBIENTALES Y EL AGUA CON SUS PROCESOS DE PURIFICACIÓN.

Marco teórico conceptual

En la bibliografía [32], se plantea que las cuestiones energéticas e hídricas han sido siempre estratégicas desde hace siglos y en lo fundamental causas de tensiones entre los diferentes países, pero se considera que el rápido crecimiento económico de algunos países, han introducidos nuevas tensiones en este sentido, debido al desbalance generado en cuanto a producción, disponibilidad y consumo. Por esta razón se plantea que el panorama mundial del consumo de petróleo no tiene una solución sencilla y que la disponibilidad de los recursos hídricos vaya tomando un carácter tal, que su control sea una fuente generadora de conflictos. Pero nada de esto es realmente nuevo, lo radicalmente nuevo son las decisiones de cada estado en la elección de sus opciones energéticas e hídricas y las consecuencias globales que estas opciones generan para la sostenibilidad del desarrollo a escala mundial.

Esto requiere que todas las acciones que se tomen en este sentido deben de estar encaminadas a dar soluciones también a los problemas ambientales estrechamente ligados a ellos. Por esta razón hoy se habla en todas las esferas, del desarrollo sostenible; y de las técnicas de protección ambiental preventiva integrada que además utilizan la eficiencia energética como una alternativa esencial, tanto por su efecto directo en la disminución de los consumos, como por lo que la misma puede contribuir a lograr el relevo de la energía convencionales por las energías renovables.

1.1. La energía

El hombre ha utilizado diferentes fuentes de energía de acuerdo a su evolución; desde la generada por sí mismo, hasta la utilización de la energía tecnológica actual, la cual está sustentada en la utilización de combustibles fósiles, los cuales no son renovables y llevan asociados un alto grado de contaminación. La

satisfacción de las necesidades energéticas, basada en los combustibles fósiles (cerca del 80% del total mundial), conjuntamente con el desarrollo industrial, el crecimiento de la población y su concentración en grandes ciudades, ha alterado significativamente algunos ciclos vitales en el planeta, entre ellos el agotamiento de estos combustibles y la contaminación medio ambiental, factores que ponen en juego la continuidad del futuro desarrollo de la sociedad coincidiendo con lo planteado por la literatura consultada [3], [7].

El agotamiento de los recursos, en especial los energéticos y los hídricos, obliga a utilizarlos cada vez de manera más racional y eficiente, presionando social y económicamente a la sociedad donde los más afectados son los países con menos recursos, pues la presión no es proporcional al desarrollo económico. Obligando al mundo a pronunciarse por la necesidad de trabajar juntos en un desarrollo sostenible mundial como única forma de mantener la existencia de la raza humana.

Aunque se avizoran tendencias, desafortunadamente hoy aun no hay consenso de esta situación; y si no se toman las medidas a nivel global, el fin de la raza humana se acerca paulatinamente. Por esta razón muchos países a nivel mundial trabajan de forma independiente por aplicar técnicas de desarrollo sostenible entre ellas la de mejorar su eficiencia energética como vía de contribuir con la humanidad.

La eficiencia energética significa garantizar los niveles de producción o servicios, con los niveles de calidad establecidos, utilizando el menor consumo de energía posible y si se combina con las técnicas de PML habría de tener en cuenta la menor contaminación ambiental posible, por este concepto. Por lo que el autor coincide en que el ahorro de energía, si bien no representa una fuente de energía en sí, se acostumbra a considerarla como tal, ya que ofrece la posibilidad de satisfacer más servicios energéticos, lo que es equivalente a disponer de más energía [3].

Conociendo la relación existente entre contaminación y generación de energía se considera que el incremento de la eficiencia energética tiene un beneficio ambiental inmediato y directo, ya que implica una reducción en el uso de

recursos naturales y en la emisión de contaminantes, incluido el dióxido de carbono (CO₂) y el azufre (S) entre otros. Sin lugar a dudas, la energía más limpia es la energía ahorrada [3].

La bibliografía [3], [4], presenta que para evaluar los cambios en la eficiencia energética se utilizan indicadores, los cuales son evaluados de acuerdo a la misión de cada empresa, entidad o proceso y los cuales pueden ser aplicados a cualquier situación o proceso por su forma abarcadora por lo que serán los indicadores utilizados en el trabajo y se presentan a continuación.

Índices de consumo:

- energía consumida / Producción realizada,
- energía consumida / Servicios prestados,
- energía consumida / Área construida.

Índices de Eficiencia:

- energía teórica / Energía real
- energía producida / Energía consumida

Estos indicadores son de mucha importancia pues permiten evaluar la eficiencia energética en empresas, procesos y situaciones con similares funciones permitiendo hacer evaluaciones tecnológicas que permitan tomar decisiones.

Normalmente existe una tendencia a que la mayoría de las evaluaciones energéticas están basada en los costos directos [3], a partir de su eficiencia, sin tener en cuenta otros aspectos, que se pueden apreciar en la bibliografía especializadas [3], como son los costos externos o sociales, los cuales son hoy lo que están poniendo en peligro el desarrollo sostenible de la humanidad; donde sus efectos fundamentales son los siguientes:

- impactos sobre la salud humana,
- daños a la flora y la fauna,
- daños medioambientales y cambios climáticos globales,
- costos a largo plazo debido al agotamiento de las reservas energéticas (aumento de los precios).

Estos costos son incalculables, pero al evaluar la energía desde el punto de vista de la protección ambiental integrada se logra el incremento de la eficiencia energética pero al mismo tiempo la disminución de emisiones de contaminantes a la atmósfera que son los causantes de los costos externos. Hoy con el objetivo de trabajar para lograr el desarrollo sostenible se hace necesario tener en cuenta todos los aspectos que inciden negativamente en el medio ambiente y lograr su erradicación; por lo que en Cuba, como país miembro de la Asamblea de Naciones Unidas (ONU) y con una política internacional a favor de los derechos sociales, comienza a tomar medidas que desenlazan una revolución energética dirigida por el estado cubano y sus líderes históricos.

1.1.1. La Revolución Energética en Cuba.

El alcance de los programas incluidos en la Revolución Energética en Cuba es abarcador y de un carácter general, contando con 21 programas de los cuales se particularizan en el presente trabajo los siguientes aspectos:

análisis del consumo y la demanda de todos los portadores energéticos como tarea de primera prioridad en los diferentes sectores de la economía, concientización política, capacitación, medición y control de los índices energéticos por unidad de producción física.

La Revolución Energética en Cuba no es temporal, llegó para quedarse, marcando un antes y un después. Su desarrollo debe superar todos los antecedentes, permitiendo asegurar el desarrollo económico y social sostenible en bien de los cubanos y de la humanidad [6]. El año 2006, se denominó “Año de La Revolución Energética en Cuba”, y presupone, como lo ha explicado en reiteradas ocasiones el líder cubano Fidel Castro Ruz, el inicio de la puesta en práctica de nuevas concepciones para un uso racional y eficiente de la energía en todos los sectores de la sociedad cubana, haciendo del ahorro de energía el sustento fundamental del desarrollo del país [4].

Esto ha motivado a que muchos especialistas, de esferas que aun no se habían catalogado de prioritarias, estén evaluando sus procesos desde una óptica energética, lo que permitirá determinar sus puntos críticos y con ello hacer

propuestas que mejoren su eficiencia energética, como es el caso del presente trabajo.

1.2. Antecedentes medios ambientales y PML.

La contaminación medio ambiental, es un tema que por su incremento ha preocupado a muchos, condicionando que a partir de la segunda mitad del siglo XX se comienzan a introducir las prácticas orientadas a la protección del medio ambiente, las cuales han tomado cierta relevancia y han transitado por diferentes estadios, enfoques y tendencias, desde la dispersión de los contaminantes en la década de los 60, hasta Las PML [10], [32],; que en la actualidad son el enfoque promisorio de estas prácticas, ya que permite la aplicación de una estrategia preventiva, integrada a los procesos, producciones y servicios, que incrementa la eficiencia, reduce los riesgos para los seres humanos y el ambiente logrando la sostenibilidad del desarrollo, [44], [46] [31]; teniendo como aspecto en común con las necesidades actuales, la pretensión de hacer más con menos; y al mismo tiempo reducir la generación de residuos y emisiones en la fuente de origen.

Acorde a las pretensiones institucionales es necesario realizar una evaluación integral empresarial que determine los puntos críticos de excesos de consumo que incidan en el impacto medio ambiental, teniendo en cuenta que el consumo hídrico y energético son los dos elementos fundamentales que deterioran el medio ambiente.

Haciendo una evaluación del organigrama sugerido para la protección ambiental integrada el cual se muestra en el anexo 1, se puede apreciar que existen diferentes niveles de gestión para la protección integrada del medio ambiente, donde el trabajo en los niveles 1 y 2 serian la esencia de la aplicación de PML según se muestra en el anexo 2, siendo esta la tendencia del mundo actual. Cuba no ha estado ajena a la evolución del pensamiento y las tendencias internacionales en materia de gestión ambiental empresarial, la cual ha recibido un importante impulso en los últimos años, como resultado del trabajo conjunto de los Organismos de la Administración Central del Estado [28]. Estableciendo

que todas las empresas deben aplicar PML para que garantice disminuir la contaminación ambiental, pero que redunde en un incremento de su eficiencia.

En Cuba desde 1998 el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente ha realizado esfuerzos para promover, introducir e implementar alternativas para la prevención de la contaminación en los sectores prioritarios de la economía. Partiendo de estas premisas se hace necesario la inserción integral, coherente y armónica del concepto de protección medio ambiental en las nuevas Estrategias de los Territorios y las empresas, de forma tal que permita la obtención de beneficios productivos y de servicios, como resultado de inversiones ambientales pero que a la vez signifiquen un uso racional de los recursos y la minimización de impactos negativos e incremento de la eficiencia energética.

Coincidentemente se establece que las etapas siguientes son muy importantes para la introducción de la PML en una organización o proceso [31] [44], [46] y serán las utilizadas en este trabajo para la evaluación del proceso de destilación:

- disponibilidad y recogida de los datos de la organización,
- determinar en cuanto, a donde y porque se generan los residuos o los altos consumo,
- evaluación de opciones de aplicación de PML,
- factibilidad técnica, económica y ambiental,
- implementación,
- control, seguimiento, mejoramiento continuo.

Estas etapas conllevan a un estudio profundo en los frentes energético, hidráulico y medio ambiental del proceso o empresa que permitan hacer evaluaciones correctas para la implementación de las mejoras requeridas. Obteniendo del estudio todos los elementos para la determinación de los puntos clave de los consumos energéticos, la contaminación ambiental y fugas de agua, partiendo además, que el principal portador energético de hoy es la electricidad; y que para su generación se consumen grandes cantidades de petróleo cuyas emanaciones de CO₂, S y N representan más del 30% de la emanación globales del planeta [3], [10].

Es por ello que se concentra esta investigación en los resultados de la evaluación de los consumos energéticos e hídricos de Electromedicina [43] aplicando PML de forma tal que disminuyan los residuos y pérdidas de agua; y a su vez los procesos se hagan mucho más eficientes. Lo que hace valorar fundamentalmente la purificación de agua en las unidades asistenciales de salud.

1.3. El agua

El agua es el principal componente inorgánico de los seres vivos y constituye aproximadamente desde un 60 hasta un 95% de la materia global de los mismos. Esto la hace imprescindible para la vida y tiene unas características físicas y químicas únicas, que la hacen aún más preciada. Las propiedades del agua dependen de una estructura molecular que se puede representar como un tetraedro irregular, con el átomo de oxígeno situado en el centro entre dos de hidrógenos. El oxígeno forma enlaces covalentes con el hidrógeno y a la vez presenta un porcentaje de enlace iónico de un 33%, la molécula se comporta como un dipolo eléctrico.

Esto genera atracciones electrostáticas entre las cargas locales positiva de los hidrógenos de una molécula y la carga locales negativa del oxígeno de otras moléculas próximas, formando puentes de hidrógeno. La disposición angular de la molécula, la formación de dipolos y la constitución de puente de hidrógeno; son las causantes de las propiedades únicas y excepcionales del agua que la hacen preciada para varias funciones pero que para el caso de la destilación son propiedades adversa que conlleva a altos consumos de agua y energía.

El agua natural contiene, materiales en disolución (sólidos, líquidos y gaseosos) y en suspensión (minerales, materia orgánicas y microorganismos) [34], sin embargo para ser utilizada en múltiples aplicaciones donde se pueden señalar entre otras, la farmacopea, el diagnostico y terapéutica de salud debe de cumplir una serie de requerimientos de purificación, que permita reducir estos contaminantes.

1.3.1. La purificación de agua

La relación existente entre la calidad del agua y la salud se conoce desde la antigüedad. Existiendo ya reglas básicas en el año 2000 A.C que decía que las aguas debían ser expuestas a la luz del sol y filtrada con carbón. Además existen descripciones de civilizaciones antiguas con referencia a la purificación del agua donde se utilizaban cobre, plata y técnicas de electrólisis para estos fines [16]. Considerándose como las primeras formas de tratamiento de agua [16].

Existieron otras formas más adelante, como por ejemplo el primer filtro múltiple que se desarrollo en 1685 por el físico Italiano Lu Antonio Porzo. El filtro consistía en una unidad de sedimentación y filtro de arena; y en 1746, el científico Francés Joseph Amy recibe la primera patente por el diseño de un filtro, que es utilizado por primera vez para la purificación de agua, en el año 1750. Los filtros estaban hechos de algodón, fibras de esponja y carbón. Estos filtros lograban filtrar una parte fundamental de la suspensión del agua, pero no así con gran parte de los sólidos disueltos y los microorganismos, [16]. Hoy en día aun se utiliza el sistema de filtración, y la tecnología ha permitido mejorar grandemente los resultados obtenidos.

La purificación del agua se ha utilizado desde hace muchos siglos. Sin embargo, de la desinfección no se habla hasta después del 1850 con el descubrimiento de los microorganismos, a partir del desarrollo del microscopio por Anthony van Leeuwenhoek, lo cual permite la identificación y comparación de microorganismos patógenos [16].

1.3.1.1. Niveles de calidad del agua

El agua purificada se utiliza en todas las industrias y organizaciones científicas. Por lo tanto, los organismos internacionales y nacionales de estándares han establecido niveles de calidad del agua para varios tipos de aplicaciones:

El International Organization for Standardization (ISO) (Organismo Internacional de Estandarización), La American Society for Testing and Materials (ASTM) (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales), Y otros organismos

representativos han especificado criterios relacionados con sus actividades específicas en el que la calidad del agua se ha establecido como norma.

El Organismo Internacional de Estandarización para especificaciones del agua para uso clínico dictó la normativa ISO 3696 de 1987, la cual contempla los siguientes tres niveles de calidad del agua y es la norma vigente en Cuba de acuerdo a su Gaceta Oficial [34] la cual establece que las aguas pueden ser usadas de acuerdo a su clasificación lo cual se muestra a continuación.

Agua calidad 1

Agua fundamentalmente libre de contaminantes disueltos o iónicos coloidales y orgánicos. Esta agua es adecuada para los requisitos analíticos más exigentes, incluyendo los de la cromatografía líquida de alto rendimiento. Debe producirse mediante el tratamiento adicional del agua de calidad 2. El agua de calidad 1 no debe tener partículas mayores que 0,2 μm . y su resistividad debe medirse en línea de producción.

Agua calidad 2

Agua con muy bajo nivel de contaminantes inorgánicos, orgánicos o coloidales, y adecuada para fines analíticos sensibles, incluyendo espectrometría de absorción atómica, y para la determinación de constituyentes en cantidades de trazas.

Agua calidad 3

Agua adecuada para la mayoría de trabajos clínicos y de química de laboratorio y para la preparación de soluciones de reactivos A menos que se especifique lo contrario, se debe utilizar para trabajos analíticos habituales.

En el anexo 3 se muestran los parámetros del organismo de estándares internacional (ISO) admitidos en Cuba de acuerdo a su norma vigente en la legalidad cubana [34]. Aunque en la norma cubana no se recoge la clasificación del agua de acuerdo al nivel bacteriano se considera de vital importancia por lo que se asume el de la ASTM el cual se muestra en el anexo 4

Como se puede apreciar el hombre en su desarrollo necesitó de la utilización de agua cada vez más pura, libre de impurezas, minerales y que sirviera para uso

sanitario sin provocar reacciones adversas, por lo que recurrió a los métodos más efectivos de purificación disponible en ese momento, como es la destilación.

1.3.2. La destilación

La destilación como proceso tecnológico para su uso en la química convencional, debe su descubrimiento a los alquimistas. Donde su mayor esplendor, en la antigüedad, se alcanzó en Alejandría entre los años 200-300 después de Cristo, siendo posiblemente en esta época cuando se inventa el alambique o destilador para la obtención de alcoholes [48], [15].

El objetivo general de la destilación [18], [48] consiste en separar las sustancias que tienen diferentes presiones de vapor a una determinada temperatura. La destilación, se refiere a la separación física de una mezcla líquida en dos o más sustancias que tienen distintos puntos de ebullición.

Si se calienta una mezcla líquida de dos sustancias volátiles, el vapor que se separa tendrá una mayor concentración del material de menor punto de ebullición. Y por lo tanto el líquido quedará con una concentración mayor de la sustancia de mayor punto de ebullición. Viéndose desde otro punto de vista, si se enfría un vapor caliente, la sustancia de mayor punto de ebullición tiende a condensarse en mayor proporción que la sustancia de menor punto de ebullición. Por lo que se puede decir que la destilación consiste en separar, mediante vaporización, una mezcla de sustancias líquidas volátiles en sus componentes individuales, o bien, en algunos casos, en separar uno de los componentes de la mezcla del resto. La destilación se puede realizar en la práctica siguiendo dos métodos fundamentales los cuales se pueden llevar a cabo en forma continua o discontinua.

El primero se basa en la vaporización de la mezcla y provocar un retorno de parte del condensado al evaporador, en condiciones tales que el líquido que desciende hacia el evaporador se ponga en contacto con el vapor que va hacia el condensador como se referencia en la bibliografía [39].

El segundo método se basa en la producción de un vapor mediante la ebullición de la mezcla líquida que se desea separar, procediendo posteriormente a la

condensación del vapor sin que ninguna fracción del líquido retorne al evaporador y se ponga en contacto con el vapor.

En este trabajo se tomarán en cuenta el método continuo y que no utilizan retornos de líquidos al evaporador por ser el método que utilizan los destiladores convencionales de agua

Un destilador convencional de agua consiste en dos partes fundamentales como se muestra en el anexo 5:

En esta figura se pueden apreciar las partes de un destilador convencional de agua donde se tiene:

- en “A”, el evaporador, donde entran en contacto la mezcla líquida a separar y la fuente de calor para producir su evaporación, en este caso unas resistencias eléctricas conectadas a una fuente de alimentación;
- en “B”, el condensador o intercambiador de calor, en el que la corriente del fluido evaporado se enfría hasta condiciones de saturación cediendo calor a una corriente refrigerante (agua).

Como se muestra en la anexo 5 el condensado de los vapores sale por un orificio hacia un deposito o acumulador que lógicamente debe de tener condiciones adecuadas para mantener la calidad del destilado. En algunos condensadores se podrá apreciar que muchos de ellos presentan dos orificios uno para el destilado y otro para evacuar los vapores no condensables. Si no existe la salida para vapores no condensables como en el presente caso, entonces se dice que es un condensador total

En la bibliografía [5], [12], [13], [18], no se precisa cuando se produjo la introducción del destilador como método de purificación de agua en las unidades de salud, pero si se muestra como el método más efectivo, ya que su producto final brinda cualidades más completa para los fines sanitarios que los métodos alternativos que existían. Estableciéndose en las instituciones hospitalarias el uso de la destilación de agua convencional como proceso que purifica el agua mediante el incremento de su energía, convirtiéndola en vapor y posteriormente

disminuyendo esta energía para convertirla nuevamente en agua. Proceso que garantiza agua pura pero al mismo tiempo desinfectada.

En el mundo se han realizados múltiples diseños de destiladores convencionales, de diferentes capacidades, consumo, formas, etc.[26], [27], [29], Pero todos están compuestos por un generador de vapor (evaporador) y un intercambiador de calor (condensador). En la bibliografía se aprecian tendencia a sustituir la fuente energética convencional por fuentes alternativas logrando disminuir los consumos pero complicando las condiciones de instalación que no son factibles de aplicar en las unidades de salud ya existentes.

La destilación es un proceso que se desarrolla en un sistema abierto y se rigen por leyes físicas y termodinámicas de estos sistemas por lo que se realizan las evaluaciones de la misma para este proceso [17].

1.3.3. Leyes fundamentales que intervienen en la destilación

Cuando se analiza, energéticamente, un proceso debe tomarse en cuenta ciertas restricciones impuestas por la naturaleza, así como las leyes fundamentales de la física que sirvan como base para la obtención de las ecuaciones que rigen el proceso y que permita estudiarlo.

1.3.3.1. Balance de masa de un sistema

La ley de la conservación de la materia plantea que la masa es indestructible por lo que en un sistema cerrado la masa permanece constante. En un sistema abierto esta puede tener variaciones pero podemos decir que durante cualquier unidad de tiempo [11], [17], [20], [21]:

$$\left(\begin{array}{l} \text{La masa} \\ \text{que está} \\ \text{en el} \\ \text{sistema} \\ \text{en el} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{La masa} \\ \text{que} \\ \text{entra al} \\ \text{sistema} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{La masa} \\ \text{que está} \\ \text{en el} \\ \text{sistema} \\ \text{en el} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{La masa} \\ \text{que sale} \\ \text{del} \\ \text{sistema} \end{array} \right)$$

Reordenando los términos se obtiene la siguiente relación:

$$\left(\begin{array}{l} \text{La masa} \\ \text{que está} \\ \text{en el} \\ \text{sistema} \\ \text{en el} \\ \text{tiempo } t = t \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{La masa} \\ \text{que está} \\ \text{en el} \\ \text{sistema} \\ \text{en el} \\ \text{tiempo } t = 0 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{La masa} \\ \text{que entra} \\ \text{al sistema} \end{array} \right) - * \left(\begin{array}{l} \text{La masa} \\ \text{que sale} \\ \text{del} \\ \text{sistema} \end{array} \right)$$

Lo que se puede expresar por la ecuación 1.1:

$$M_{(t)} - M_{(0)} = \int_0^t m_{Ent}(t) - \int_0^t m_{Sal}(t) \quad \text{Ec.1.1}$$

1.3.3.2. Balance de componentes en una mezcla

Cuando se habla de una mezcla se refiere a un conjunto de sustancias puras es decir un conjunto de sustancias cuyas moléculas son todas iguales. Por esta razón, llamaremos componente de una mezcla, a las sustancias pura que la forman. Por lo que podemos decir que la masa total M de una mezcla es igual a la suma de las masas (m) de cada componente que lo forma:

$$M = \sum_{j=1}^n m_j \quad \text{Ec. 1.2}$$

Donde j serian los distintos componentes que forman la mezcla y n es el número total de componentes.

1.3.3.3. Balance del volumen de un sistema

Considerando que los líquidos son incompresibles se tiene el siguiente balance [11], [17], [20], [21]:

$$\left(\begin{array}{l} \text{El} \\ \text{volumen} \\ \text{que está} \\ \text{en el} \\ \text{sistema} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{El flujo} \\ \text{volumétr} \\ \text{ico que} \\ \text{entra al} \\ \text{sistema} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{El} \\ \text{volumen} \\ \text{que está} \\ \text{en el} \\ \text{sistema} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{El flujo} \\ \text{volumétr} \\ \text{ico que} \\ \text{sale del} \\ \text{sistema} \end{array} \right)$$

Por analogía con los procedimientos anteriores se obtiene que:

$$\frac{dV(t)}{dt} = \dot{V}_{Ent}(t) - \dot{V}_{Sal}(t) \quad \text{Ec.1.3}$$

Esta ecuación representa el cambio de volumen en un sistema para un tiempo dado.

1.3.3.4. Balance de energía de un sistema

La energía es inherente a la materia. Por energía se entiende algo que aparece en muchas formas, las cuales se relacionan entre sí mediante su conversión mutua. La ley de la conservación de la energía establece que la energía no se puede crear ni destruir solo se transforma.

Esa ley se conoce también como la primera ley de la termodinámica. De manera similar a los balances mencionados anteriormente se tiene la siguiente expresión [11], [17], [20], [21]::

$$\left(\begin{array}{l} \text{La} \\ \text{energía} \\ \text{que está} \\ \text{en el} \\ \text{sistema} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{La} \\ \text{energía} \\ \text{que} \\ \text{entra al} \\ \text{sistema} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{La} \\ \text{energía} \\ \text{que está} \\ \text{en el} \\ \text{sistema} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{La} \\ \text{energía} \\ \text{que sale} \\ \text{del} \\ \text{sistema} \end{array} \right)$$

Lo que se puede expresar matemáticamente por la ecuación No.1.4

$$E(0) + \int_0^t E_{Ent}(t)dt = E(t) + \int_0^t E_{Sal}(t)dt \quad \text{Ec.1.4}$$

Si se supone un proceso en el que hay transferencia de masa a través de sus fronteras mientras se efectúa el proceso. La energía puede transferirse desde el sistema a sus alrededores en dos formas:

Como calor, o energía que fluye como resultado de una diferencia de temperaturas entre el sistema y sus alrededores. La dirección del flujo es siempre de mayor a menor temperatura. El calor se definirá como positivo cuando se transfiere al sistema desde sus alrededores.

Como trabajo, o energía que fluye en respuesta a cualquier cambio que no sea una diferencia de temperatura, como una fuerza, un torque, un flujo o un voltaje. El trabajo se define como positivo cuando los alrededores realizan trabajo sobre el sistema.

Los términos "calor" y "trabajo" se refieren solo a la energía que se está transfiriendo; se puede hablar de calor o de trabajo añadido a un sistema o extraído del mismo, pero no tiene sentido hablar de que un sistema posee o contiene calor o trabajo.

Conociendo que el trabajo neto W realizado sobre un sistema abierto por sus alrededores puede escribirse como:

$$W = W_e + W_f \quad \text{Ec. 1.5}$$

donde:

W_e = Trabajo externo, o el trabajo hecho sobre el fluido del proceso por una fuente externa como el voltaje aplicado a un elemento calefactor

W_f = Trabajo de flujo, o el trabajo hecho por el fluido a la entrada del sistema menos el trabajo hecho sobre el fluido a la salida del sistema

$$W_e = W_{Ent} - W_{Sal} \quad \text{Ec. 1.6}$$

El trabajo que realiza el fluido que entra al sistema es:

$$W_{Ent} = P_{Ent} \bar{v}_{Ent} \quad \text{Ec. 1.7}$$

donde :

V_{Ent} = (m^3/s) es la velocidad del flujo volumétrico de entrada

P_{Ent} = ($kg/m*s^2$) es la presión con la que llega el fluido al sistema.

Una vez obtenidas las leyes que gobiernan el proceso en un sistema abierto es posible hacer un balance energético para la evaluación teórica y real del proceso, por lo que es necesario hacer cuantificaciones de varios parámetros, exigiendo el uso de la estadística para la interpretación de los resultados.

1.4. Estadística

Cuando se estudia un proceso de forma experimental, se comprende la necesidad de contabilizar e interpretar matemáticamente los resultados obtenidos; ya que aún cuando las observaciones sean rigurosas, existirán diferencias en los datos obtenidos. Esto es muy frecuente e incluso ocurre en aquellos casos en que el experimento se repite en condiciones idénticas por el mismo individuo. La implicación de este hecho conduce a un error o incongruencia, de aquí surge la necesidad de contar con métodos y técnicas que permitan considerar esas diferencias y determinar cuando los resultados del estudios son válidos y así poder tomar las decisiones necesarias.

La **Estadística** proporciona los métodos para fundamentar científicamente tales estudios, donde se utilizan variables para designar determinadas magnitudes y se utilizan técnicas para interpretar los resultados obtenidos en el proceso de investigación, lo que permiten coleccionar, organizar, resumir, presentar y analizar datos relativos a un conjunto de observaciones y que permiten extraer conclusiones válidas para tomar decisiones lógicas basadas en dichos análisis.

Para obtener resultados de tipo estadístico es necesario trabajar con un conjunto de elementos que sea representativo sobre el total que se desea obtener información. Por lo que para el cálculo del tamaño de la muestra se aplicará el muestreo simple aleatorio sin reposición, según los procedimientos estadísticos sugeridos para su determinación partiendo de la ecuación 1.8

$$n = \frac{NPQZ - \frac{\alpha}{2}}{(N-1)d^2 + PQZ - \frac{\alpha}{2}} \quad \text{Ec. 1.8}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra

N: Tamaño de la población

P: Probabilidad de éxito $0 \leq P \leq 1$, $P = 0,5$

Q: Probabilidad de fracaso $0 \leq Q \leq 1$, $Q = 0,5$

$Z - \frac{\alpha}{2}$: Nivel de confianza asumido: lo cual toma los valores recomendando
 99% = 2,58; 95% = 1,96; 90% = 1,64

d: Es el error máximo permisible, este se selecciona bajo el criterio siguiente:

Para poblaciones $N \leq 19$ se asume al 1%, o sea, el valor de 0,01

Para poblaciones comprendidas desde 20 hasta 29 se asume de un 1 a un 2%, o sea, el valor de 0,01 hasta 0,02

Para poblaciones comprendidas desde 30 hasta 79 se asume de un 2 a un 5%, o sea, el valor de 0,02 hasta 0,05

Para poblaciones comprendidas desde 80 hasta 159 se asume de un 5 a un 10%, o sea, el valor de 0,05 hasta 0,10

Para poblaciones mayores de 159 se asume desde un 5 hasta un 20%, o sea, el valor de 0,05 hasta 0,20

1.4.1. Correlación y regresión.

Con frecuencia, es necesario enfrentar el problema de determinar las relaciones entre dos o más variables. Tan pronto como se empieza a indagar acerca de las relaciones entre las variables, se penetra en el campo de la correlación. Esta investigación de la relación entre las dos variables, se comienza generalmente con un intento de descubrir la forma aproximada de la relación entre ellas, para lo que se representan los datos en un sistema de coordenadas, el cual recibe el nombre de diagrama de dispersión. En esta gráfica se puede observar si existe o no una relación acentuada y si tiene forma lineal o no lo que permite predecir el comportamiento de una variable en función de la otra realizándose consideraciones matemática

En un sistema de coordenadas rectangulares, las variables se representan convencionalmente por letras designadas que pueden ser “x” e “y”, y los puntos del plano por pares ordenados de la forma (x ; y). Cuando los puntos están sobre una recta, corresponden a una ecuación lineal de primer grado que relaciona las variables. Cada ecuación del tipo $y = m x + n$ tiene como representación gráfica una recta, y cada recta a su vez, tiene una ecuación del tipo descrito. Los coeficientes m y n son constantes para cada recta, x e y son las variables.

Como no siempre los puntos caen sobre la recta es necesario hacer una recta de aproximación y para evitar criterios individuales en el ajuste, o sea, al construir rectas u otras curvas de aproximación a los datos, es necesario establecer la definición de una curva de ajuste óptimo. La cual utiliza el método de los mínimos cuadrados para su establecimiento.

1.5. Conclusiones del capítulo

1. La destilación es considerada un proceso alto consumidor de energía, sin realizarse estudios energéticos experimentales que validen esta afirmación.

2. Se han realizado modificaciones al proceso. De destilación sustituyendo la fuente de energía por fuentes alternativas que no resuelven la problemática de salud.
3. Las estrategias de implementación de las PML no han sido aplicada en Cuba con anterioridad al proceso de destilación

CAPITULO 2 EVALUACIÓN ENERGÉTICA, HÍDRICA Y AMBIENTAL DE LOS SISTEMAS DE PURIFICACIÓN DE AGUA DE LA PROVINCIA HOLGUÍN Y SUS PROPUESTAS PARA MEJORARLAS.

El capítulo contiene los elementos utilizados para responder a la interrogante presentada como problema de la investigación dividiéndose en la clasificación, los procedimientos y las técnicas empleadas en la realización de las tareas de investigación; además de la evaluación teórica y práctica de los consumos energéticos para la destilación convencional de agua, identificando los puntos críticos de la misma y brindando alternativas que permitan disminuir los consumos; mejorando sus indicadores energéticos, ambientales y económicos.

Para poder realizar las evaluaciones teóricas y práctica de los consumos energéticos se realizaran las siguientes tareas:

- a) balance energético al proceso de destilación convencional,
- b) evaluación energética del proceso mediante técnicas de PML, que permita evaluar las potencialidades de ahorro en dicho proceso,
- c) fundamentar las propuestas que contribuyan a mejorar los índices energéticos, ambientales y financieros en el proceso de purificación de agua de las instituciones de salud en la provincia.

2.1.1. Materiales y métodos utilizados en la investigación.

Se realiza una investigación experimental, técnica, económica y ambiental aplicada al proceso de purificación de agua en las instituciones de salud de la provincia Holguín; la cual, para responder al objetivo formulado en el diseño de la investigación, se enmarcó en tres aspectos fundamentales:

- a) El análisis de los antecedentes y la evolución histórica de los procesos de purificación de agua así como la inserción de la destilación como proceso de purificación en las instituciones de salud.
- b) La evaluación energética del proceso de destilación y su repercusión económica y ambiental

- c) La evaluación de propuestas que contribuyan a disminuir el consumo energético de la purificación de agua en estas unidades, haciendo el proceso más eficiente energéticamente.

2.1.2. Diseño del experimento investigativo.

Una medición puede ser suficiente para caracterizar a una variable, pero las leyes científicas se confeccionan sobre la base de la frecuencia con que se repite el fenómeno estudiado, por tal situación se realizan 20 mediciones de cada variable pues aun en el caso en que las mediciones se realicen por un mismo sujeto, con los mismos instrumentos y las mismas condiciones experimentales los resultados diferirán, por lo que se trabajara con el valor medio de los resultados determinando el margen de error.

Además en un proceso pueden existir muchas variables por lo que para un análisis de un proceso poco conocido hay que hacer un muestreo de selección de variable para seleccionar las que tienen mayor interrelación, pero para el caso de la destilación convencional en el que se acumula una alta experiencia profesional, se orienta la selección de las variables hacia aquellas que está demostrado su mayor incidencia practica.

2.1.2.1. Definición y operatividad de las variables.

Se definieron las variables utilizadas en la evaluación de la investigación las cuales se describen seguidamente:

Energía consumida: es el consumo energético necesario para purificar una cantidad de agua determinada.

Pérdidas energéticas: es la energía consumida que no produce purificación de agua y se pierde en el proceso.

Gasto de agua: es la cantidad de agua consumida para producir la purificación de una cantidad de agua.

Potencia consumida: es la potencia a desarrollar para mover el gasto de agua.

Grado de incrustación: es el nivel de recubrimiento sobre las resistencias, creado por las sales disueltas, que entorpecen la transferencia de calor y representan pérdidas energéticas.

Grado de separación del criterio de diseño: es la diferencia energética creada por la potencia prevista durante la instalación del destilador y la prevista por el fabricante.

Variable	Tipo	Definición	Indicador
Energía consumida	Cuantitativa continua	Es el consumo energético necesario para purificar una cantidad de agua determinada	Teórico $E = m * h_{fg}$ Práctico $E = I * V * t$
Pérdidas energéticas	Cuantitativa continua	Es la energía consumida que no produce purificación de agua y se pierde en el proceso.	Teórico $Q = \text{Perdidas por las paredes} + \text{perdidas por incrustación}$ Práctico $Q = \frac{\text{Energía consumida práctica}}{\text{Energía consumida teórica}}$
Gasto de agua	Cuantitativa continua	es la cantidad de agua consumida para producir la purificación de una cantidad de agua	Teórico $G = \frac{\text{Cantidad de calor}}{C_p * (t_{salida} - t_{Entrada})}$ Práctico $G = \frac{\text{Volumen medido en unidad de tiempo}}{\text{tiempo total}}$
Potencia consumida	Cuantitativa continua	Es la energía consumida para mover el gasto de agua.	Teórico $P = \frac{\Delta_p * G}{1000 * \eta}$
Índice de consumo	Cuantitativa continua	Es el consumo energético necesario para purificar una cantidad de agua	$I_c = \frac{\text{Energía Consumida}}{\text{Produccion de destilado}}$

		determinada	
Grado de incrustación.	Cualitativa nominal	Es el nivel de recubrimiento sobre las resistencias, creado por las sales disueltas, que entorpecen la transferencia de calor y representan pérdidas energéticas.	Nivel de incrustación observado por el encuestador. Sin incrustaciones Medianamente incrustado Muy incrustado
Grado de separación del criterio de diseño.	Cualitativa nominal	Es la diferencia energética creada por la potencia prevista durante la instalación del destilador y la prevista por el fabricante.	Separación observada por el encuestador entre 0 y 2,5 kW entre 2,5 y 5 kW entre 5 y 7,5 kW entre 7,5 y 10 kW mayores que 10 kW

Tabla 2.1. Definición de las variables

2.1.2.2. Consideraciones para el análisis energético

El análisis energético del destilador se realiza teniendo en cuenta las siguientes consideraciones.

- Que las condiciones ambientales en el local no varían durante las mediciones.
- Que el destilador se va a considerar un sistema abierto ya que la cámara de ebullición o evaporador está en contacto con el medio ambiente a través del orificio de salida del destilado.
- Que el destilador convencional no tiene flujo de entrada y un único flujo de salida para el agua destilada, como el mostrado en el anexo 6.

- Que el flujo de salida tiene tan pequeñas energía cinética y potencial que pueden ser despreciadas.
- Que el flujo de salida del destilado es estacionario al mantenerse constante los siguientes parámetros.
 - Potencia desarrollada por los calefactores
 - Caudal, temperatura y demás condiciones del agua refrigerante.
- Que la eficiencia de las bombas de agua involucradas en la investigación va a ser de 85 % a menos que se especifique lo contrario.

Durante la investigación se miden los siguientes parámetros que son los que posibilitan obtener los valores prácticos deseados.

Volumen destilado (\dot{V}_D): es necesario para obtener la masa del destilado y poder realizar los cálculos de energía y el calor extraído, se obtiene en litros.

Volumen de agua refrigerante (\dot{V}_R): es la cantidad de agua en litros que se hace pasar por el condensador en una base de tiempo dada.

Tiempo (t): es el tiempo utilizado para hacer las mediciones que dependen de él.

Temperatura (T): Parámetro ligado a la transferencia de calor, necesario para los cálculos medidos en °C y tendrá un subíndice para indicar a cual se refiere.

- $T_{\text{agua entrada}}$: Temperatura del agua de refrigeración a la entrada del destilador.
- $T_{\text{agua salida}}$: Temperatura del agua de refrigeración a la salida del destilador.
- T_{Pared} : Temperatura de la pared del destilador.
- $T_{\text{ambiente lejano}}$: Temperatura del local donde está el destilador.
- Perímetro de la pared del destilador (P_m): medida circular de las paredes del destilador que permite obtener el radio para el cálculo del área de intercambio.
- Intensidad de la corriente (I): es la intensidad de la corriente eléctrica en amperes consumida por los calefactores para generar la evaporación.
- Voltaje (V): es el voltaje en voltios aplicados a los calefactores para generar la evaporación.

2.1.2.3. Definición de la muestra a tomar.

Para poder obtener el análisis estadístico de una forma confiable, es necesario trabajar con una muestra representativa del total de la población que deseamos obtener información. Por lo que para el cálculo del tamaño de la muestra se aplicó el muestreo simple, aleatorio sin reposición, según los procedimientos estadísticos sugeridos para su determinación partiendo de la ecuación (1.8). Donde el tamaño de la poblaciones 113, se tomara el 50% para la probabilidad de éxito o fracaso, asumiendo un 95% de nivel de confianza, asumiendo además el 5% para el error máximo permisible y aplicando la ecuación, la muestra queda

$$n = \frac{113 * 0,5 * 0,5 * 1,96}{(113 - 1) * (0,05)^2 + 0,5 * 0,5 * 1,96}$$

$$n = 71,9$$

Por lo que la muestra se escoge igual a 72 destiladores como se muestra en la tabla del anexo 7.

2.1.3. Balance energético

En la bibliografía [12], [13] se refieren a la destilación como alta consumidora pero sin el balance energético del sistema el cual es necesario para poder evaluar todas las cargas energéticas que influyen en él y se parte de las leyes físicas que la rigen, en el caso de la destilación se analizará como un sistema abierto por estar en contacto con el medio ambiente a través de su orificio de salida.

2.1.3.1. Balance energético de un sistema abierto

Partiendo de la ecuación 1.4 y operando matemáticamente con ella obtenemos que la variación de energía con respecto al tiempo se exprese por la ecuación 2.1.

$$\frac{dE(t)}{dt} = E_{Ent}(t) - E_{Sal}(t) \quad \text{Ec. 2.1}$$

Al tener en cuenta que existe energía que traspasa las fronteras del sistema en forma de trabajo y calor se modifica la ecuación anterior obteniéndose la ecuación 2.2:

$$\frac{dE(t)}{dt} = E_{Ent}(t) - E_{Sal}(t) + W(t) + Q(t) \quad \text{Ec.2.2}$$

donde

$W(t)$: es el trabajo desarrollado por o sobre el sistema.

$Q(t)$: Cantidad de calor que es agregado o sustraído del sistema.

Al profundizar en las diferentes manifestaciones de la energía que pueden estar presente en un proceso se arriba a la siguiente conclusión

La energía total tiene 3 componentes los cuales son:

Energía cinética (E_c): es la energía debido al movimiento del sistema como un todo con respecto a algún marco de referencia. La energía cinética de un objeto de masa (M) que se mueve a una velocidad (v) con respecto a la superficie de la Tierra es [17]:

$$E_c = \frac{Mv^2}{2} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Energía potencial (E_p): es la energía debido a la posición del sistema en un campo potencial (como el campo gravitacional o el campo electromagnético), o debida a la configuración del sistema con respecto al equilibrio (p. ej. la extensión de un resorte). Para el caso estudiado la energía potencial gravitacional de un objeto de masa M es [17]:

$$E_p = Mgz \quad \text{Ec. 2.4}$$

donde:

z .- es la altura en metro del objeto por encima del plano de referencia en el que

E_p se define arbitrariamente como cero,

g .- (9.8066 m/s^2) es la aceleración de la gravedad en la tierra a nivel del mar,

Energía interna (U) : La materia está compuesta de un determinado grupo de moléculas que se están moviendo continuamente al azar. Como las moléculas tienen masa, presentan energía cinética y energía potencial análogas a la de un cuerpo tangible en movimiento y con determinada posición en la tierra [17].

La energía interna cinética total se origina principalmente por el movimiento de translación y de rotación de las moléculas pero además el movimiento de vibración de los átomos dentro de las moléculas.

La energía potencial interna resulta, de la fuerza de atracción entre las moléculas que cambian de posición unas respecto a otras provocando cambios en la energía desarrollada por ellas.

Una ilustración del cambio de energía potencial se puede mostrar cuando una cantidad de agua se evapora completamente a la presión atmosférica a la temperatura de ebullición. El volumen aumentará 1600 veces [18] y para separar estas moléculas obrando contra sus fuerzas de atracción, se requiere una gran cantidad de energía, la cual es retenida por el vapor como parte de la energía almacenada por éste. Siempre que el vapor se condense, esta misma cantidad de energía potencial interna será expulsada.

La suma de estas energías explicadas anteriormente se llama energía interna. No se conoce como hallar la cantidad absoluta de energía interna, sin embargo, lo que se necesita es el cambio o variación de la misma por encima de un valor de referencia establecido, la energía interna se representa por la ecuación 2.5 [17]:

$$U = Mu \quad \text{Ec. 2.5}$$

donde:

u = (cal/kg.) representa la energía interna específica.

El trabajo

En todo proceso existe interacción con el medio en forma de trabajo o calor, por lo que se hace necesario analizar en qué forma intervienen en el sistema analizado. Pero además es necesario evaluar de qué forma actúan sobre la

variación total de energía. Partiendo de la definición del volumen específico se puede determinar la velocidad del flujo másico como:

$$\bar{v}_{Ent} = \vec{m}_{Ent} \bar{V}_{Ent} \quad \text{Ec. 2.6}$$

siendo:

$\bar{V}_{Ent} = (\text{m}^3/\text{kg})$ es el volumen específico de la mezcla o sustancia que entra a un sistema.

$\vec{m}_{Ent} = (\text{kg}/\text{s})$ es el flujo másico que entra al sistema

Por lo tanto el trabajo del flujo de entrada resulta el mostrado por la ecuación 2.7:

$$W_{Ent} = P_{Ent}(\vec{m}_{Ent} \bar{V}_{Ent}) \quad \text{Ec. 2.7}$$

Utilizando el mismo método el trabajo que sustrae el fluido a la salida del sistema es:

$$W_{Sal} = P_{Sal} \bar{v}_{Sal} \quad \text{Ec. 2.8}$$

$$W_{Sal} = P_{Sal}(\vec{m}_{Sal} \bar{V}_{Sal}) \quad \text{Ec.2.9}$$

donde:

$\bar{v}_{Sal} = \text{m}^3/\text{s}$ es la velocidad del flujo volumétrico de salida

$\bar{V}_{Sal} = \text{m}^3/\text{kg}$ es el volumen específico de la mezcla o sustancia que entra al sistema.

$\vec{m}_{Sal} = \text{kg}/\text{s}$ es el flujo másico que sale del sistema

$P_{Sal} = \text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2$ es la presión con la que sale el fluido del sistema.

Tomando en consideración el análisis anterior, el balance de energía para un sistema abierto mostrado en la ecuación 2.2 se representa en forma general por la ecuación 2.10 mostrada a continuación:

$$\frac{dE(t)}{dt} = (E_c(t) + E_p(t) + U(t))_{Ent} - (E_c(t) + E_p(t) + U(t))_{Sal} + W(t) + Q(t) \quad \text{Ec. 2.10}$$

donde:

$E_c(t) =$ es la energía cinética que trae el flujo de entrada o de salida

$E_p(t)$ = es la energía potencial que aporta o extrae el flujo de entrada o de salida al sistema

$U(t)$ = es la energía interna que contiene n dicho flujos

$W(t)$ = es el trabajo neto aplicado o extraído del sistema

$Q(t)$ = es el calor agregado o sustraído del sistema

tomando las definiciones de cada tipo de energía y sustituyéndola se obtendría:

$$\frac{dE(t)}{dt} = \left(\frac{mv^2}{2} + mgz + mu\right)_{Ent} + \left(\frac{mv^2}{2} + mgz + mu\right)_{Sal} + W(t) + Q(t) \quad \text{Ec. 2.11}$$

Acomodando y teniendo en cuenta cada flujo del sistema se obtendrá:

$$\frac{dE(t)}{dt} = \sum_{j=1}^{NFE} m\left(\frac{v_j^2}{2} + gz_j + u_j\right) - \sum_{j=1}^{NFS} m\left(\frac{v_j^2}{2} + gz_j + u_j\right) + W(t) + Q(t) \quad \text{Ec. 2.12}$$

donde:

NFE : es el número de flujos que entran al sistema (para los diferentes componentes de la mezcla).

NFS : es el número de flujos que salen del sistema.

sustituyendo el trabajo neto que se aporta al sistema:

$$\frac{dE(t)}{dt} = \sum_{j=1}^{NFE} m\left(\frac{v_j^2}{2} + gz_j + u_j\right) - \sum_{j=1}^{NFS} m\left(\frac{v_j^2}{2} + gz_j + u_j\right) + [P_{Ent}(m_{Ent}\bar{V}_{Ent}) - P_{Sal}(m_{Sal}\bar{V}_{Sal}) + W_e(t)] + Q(t)$$

Ec. 2.13

tomando como ecuación de entalpía

$$h = u + P\bar{V}$$

Acomodando:

$$\frac{dE(t)}{dt} = \sum_{j=1}^{NFE} m_j\left(\frac{v_j^2}{2} + gz_j + h_j\right) - \sum_{j=1}^{NFS} m_j\left(\frac{v_j^2}{2} + gz_j + h_j\right) + W_e(t) + Q(t) \quad \text{Ec.2.14}$$

Quedando esta última ecuación como el balance de energía total de un sistema abierto el cual se utilizara para realizar los análisis energéticos de los destiladores convencionales de agua.

2.1.3.2. Evaluación energético teórico, del destilador convencional de agua.

Para realizar una evaluación energética de los destiladores de agua de Holguín, se parte de un destilador como el que se muestra en el anexo 6.

Inicialmente el generador de vapor se encuentra en equilibrio con el medio ambiente, debido a que el circuito de salida del destilado en el depósito está en contacto con el ambiente, por lo que las presiones interior y exterior serán iguales.

Al poner en funcionamiento la resistencia, el trabajo desarrollado producirá un calentamiento del líquido en el generador de vapor hasta condiciones de saturación. A partir de ese momento, un cierto caudal de vapor saturado saldrá del depósito y circulará por el circuito de salida a través del intercambiador, dicha corriente de vapor saturado cederá calor al líquido refrigerante, condensándose y saliendo del mismo como líquido saturado y siendo recogido en el recipiente acumulador.

Si se utiliza la ecuación 2.14 del balance de energía para un sistema abierto

$$\frac{dE(t)}{dt} = \sum_{j=1}^{NFE} m_j \left(\frac{v_j^2}{2} + gz_j + h_j \right) - \sum_{j=1}^{NFS} m_j \left(\frac{v_j^2}{2} + gz_j + h_j \right) + W_e(t) + Q(t)$$

y se analizan los diferentes aspectos del procesos desde el punto de vista del primer principio de la termodinámica. El fluido contenido en el depósito "A" en el momento inicial sufre un proceso transitorio; y unos instantes después de comenzar el proceso de ebullición en él, y si no se cambian las condiciones (potencia desarrollada por la resistencia, caudal, temperatura y demás condiciones del agua de refrigeración) el intercambiador "B" funcionara como un equipo en flujo estacionario.

Pero en el diagrama se observa que solo existe un único flujo, el de salida de agua destilada, que será tan pequeño que la energía cinética y potencial asociada a él, también lo son y se pueden despreciar. La potencia eléctrica desarrollada por las resistencias realizará un trabajo sobre el líquido en "A" generando un aumento de la energía del líquido, y al mismo tiempo habrá que considerar las pérdidas de calor hacia el exterior, a través de las paredes del

depósito “A”, el cual no está aislado térmicamente. Teniendo en cuenta los signos y restricciones planteadas anteriormente la ecuación (2.14) se simplifica como sigue:

$$\frac{dE(t)}{dt} = -m_{salida}(t) * h_{salida} + W_{elect.}(t) - Q_{Perdidas}(t) \quad \text{Ec. 2.15}$$

Mientras el evaporador solo contenga líquido no existirá corriente de salida. La energía creciente del líquido, al mantener la presión constante, producirá un aumento de su temperatura, este proceso seguirá hasta alcanzar la temperatura de saturación del líquido a la presión ambiente, momento en el que se comenzará a producir el cambio de fase. El caudal de fluido que pasa de fase líquida a fase gaseosa dependerá de la potencia suministrada, de las pérdidas de calor y de las propiedades del agua. Si dichas condiciones no varían, se puede suponer que el caudal de salida será constante. Por tanto, podremos integrar fácilmente la ecuación (2.15) para un intervalo de tiempo Δt , quedando:

$$\Delta E = -(m_{salida} * h_{salida}) + W_{elect.} - Q_{Perdidas} \quad \text{Ec. 2.16}$$

Como se conoce que la variación de energía estará en función de las masas inicial y final así como sus respectivas energías internas en el sistema.

$$m_2 u_2 - m_1 u_1 = W_{elect.} - Q_{Perdidas} - (m_{salida} * h_{salida}) \quad \text{Ec. 2.17}$$

Pero para este caso el balance de masa para el proceso de vaporización se desarrolla, teniendo en cuenta que no existe flujo de entrada y que todo lo que se obtiene en la salida es equivalente al vapor saturado producido, quedará:

$$m_1 - m_2 = m_s$$

$$h_{salida} = h_g$$

Por lo que sustituyendo

$$m_2 u_2 - m_1 u_1 = W_{elect.} - Q_{Perdidas} + (m_2 - m_1) * h_g \quad \text{Ec. 2.18}$$

$$m_2 u_2 - m_1 u_1 = W_{elect.} - Q_{Perdidas} + m_2 h_g - m_1 h_g \quad \text{Ec. 2.19}$$

Por lo que reagrupando, sacando factor común y ordenando

$$m_2(u_2 - h_g) - m_1(u_1 - h_g) = W_{elect.} - Q_{Perdidas} \quad \text{Ec. 2.20}$$

Pero considerando además que en la zona de transición de líquido a gas la entalpía total (h_i) se puede calcular como la entalpía del líquido (h_l) más la fracción del total que pasó de líquido a gaseoso (x_i) por la entalpía de cambio de fase (h_{lg})

$$h_i = h_l + x_i * h_{lg}$$

Pero que también se puede expresar en función de la entalpía gaseosa, la cual estaría dada como la entalpía total del gas (h_g) menos la fracción de líquido por la entalpía de cambio de fase (h_{lg}) pero como (x_i) se consideró a la fracción que paso de líquido a vapor, la fracción de líquido será $(1 - x_i)$ quedando la ecuación

$$h_i = h_g - (1 - x_i)h_{fg}$$

ordenándola se expresaría

$$h_i = h_g + (x_i - 1)h_{fg}$$

por lo que al despejar h_g de la ecuación anterior quedaría

$$h_g = h_i - (x_i - 1)h_{fg} \quad \text{Ec. 2.21}$$

sustituyendo en la ecuación 2.20 se obtiene

$$W_{elect.} = h_{lg}(m_1 - m_2) + h_{lg}(m_2x_2 - m_1x_1) + Q_{Perdidas} \quad \text{Ec. 2.22}$$

De la ecuación (2.22) se puede apreciar que el primer término de la derecha está referido a la energía necesaria para evaporar el caudal de salida y se sabe que el balance de masa para este caso $m_1 - m_2 = m_{salida}$, mientras el segundo termino tiene en cuenta la energía necesaria para generar el vapor que cubrirá el espacio dejado por el caudal de salida, el cual es una energía muy pequeña en comparación con el primero y podemos despreciarlo, por lo que la ecuación nos quedaría:

$$W_{elect.} = h_{lg}m_{salida} + Q_{Perdidas} \quad \text{Ec. 2.23}$$

De la ecuación (2.23) se obtiene que conociendo la energía de cambio de fase o la energía necesaria para llevar la mezcla desde la fase líquida a vapor y

conociendo la masa de ese vapor, se puede calcular el primer termino de la derecha; entendiéndose como la energía necesaria para evaporar el volumen deseado; además si se calculan todas las perdidas y se suman al termino anteriormente calculado, se obtendría la energía consumida para poder obtener el volumen de agua destilada.

2.2. Evaluación de los consumos energéticos para la destilación convencional de agua y propuesta para disminuirlos.

En este epígrafe se hace una caracterización de la destilación convencional de agua, partiendo de los datos del fabricante, como método de purificación empleado en las instituciones de salud de la provincia. Lo que permite evaluar comparativamente los consumos energéticos desde el punto de vista teórico y práctico y a partir de ello realizar comparaciones que permitan la toma de decisiones.

2.2.1. Caracterización de la purificación de agua en la provincia Holguín.

En las instituciones de salud de la provincia de Holguín el proceso de purificación de agua se lleva a cabo mediante 113 destiladores convencionales de diferentes capacidades de destilación, que según los registros son 5 equipos de 5 L/h, 19 equipos de 10 L/h, 80 equipos de 20 L/h y 9 equipos de 25 L/h.

El proceso de destilación es cíclico donde se pasa por los estados del agua, líquido, gaseoso y se vuelve a llevar a líquido. Para el cambio de estado, de líquido a gaseoso, se consume energía eléctrica, la cual suministra la energía calorífica necesaria para pasar el agua de un estado a otro; suministrándole al vapor la energía necesaria para mantenerlo en ese estado, a esa energía se le conoce como calor latente [18], y es la mayor parte de la energía contenida en el vapor; por esta razón los destiladores tienen consumos de 4 kW, 7,5 kW, 15 kW y 18 kW respectivamente. Para el cambio de estado de gaseoso a líquido se utilizan grandes cantidades de agua que, mediante la transferencia de calor en el condensador, absorben la energía calorífica acumulada en el vapor para condensarlo. Según los fabricantes los consumos de agua son de 100 L/h, 200 L/h, 400 L/h y 500 L/h que en su totalidad se vierten como desecho.

2.2.2. Evaluación teórica de los destiladores.

Partiendo del balance energético realizado para el caso considerado como experimento y donde se obtuvo la ecuación 2.23, se puede hacer los cálculos teóricos, de la energía eléctrica necesaria, para obtener un determinado volumen de destilado.

2.2.2.1. Cálculo de la energía para la evaporación del volumen a destilar.

La energía necesaria para evaporar el volumen a destilar de los diferentes destiladores se puede calcular mediante la aplicación de la relación entre masa, densidad y volumen y la entalpía de cambio de fase del agua, datos que pueden ser obtenidos de la tabla del anexo 8

Donde $\rho = 992,2 \text{ kg/m}^3$, para la temperatura media del agua destilada [20] y que el calor de vaporización del agua $h_{ig} = 2256,8 \text{ kJ/kg}$ [20] suponiendo que estén a nivel del mar.

A partir de aquí se calcula la energía necesaria para evaporar el volumen a destilar de los diferentes destiladores aplicando que

$$E = \rho V * h_{fg}$$

Tabla 2.2 Energía consumida por tipo de destilador.

Fuente: el autor

Capacidad de destilación (L/h)	Energía en (kJ)	Energía en (kW/h)	Consumo por unidad de producción en kW/L
25	55979,92	15,55	0,622
20	44783,94	12,44	0,622
10	22391,97	6,22	0,622
5	11195,98	3,11	0,622

Se puede apreciar la proporcionalidad del consumo energético para la evaporación del agua. La cual, por sus características excepcionales, consume

una alta dosis de energía para evaporarse estando en el orden de los 622 Watts por cada litro evaporado.

2.2.2.2. Cálculo de las pérdidas por las paredes del destilador.

Parte de las pérdidas del destilador se producen a través de sus paredes, la que no están aisladas térmicamente; y a las cuales se le puede calcular el área partiendo de la obtención de su perímetro y la altura. También se puede medir la temperatura en la superficie de la pared del destilador (T_{pared}), considerando que esta es igual a la temperatura del agua en su interior ya que el grosor de la misma lo permite. Además se consideró que en el ambiente lejano a la pared (local de instalación) existe una temperatura media ($T_{ambiente lejano}$) de 28° C. por lo que este cálculo se puede realizar mediante la determinación del coeficiente de traspaso de calor el cual puede ser calculado [20] como sigue:

$$Q = q * A \quad \text{Ec. 2.24}$$

Donde q son las pérdidas por unidad de superficie en una unidad de tiempo expresada en W/m^2 ; o lo que es lo mismo la densidad de flujo calorífico en la superficie externa del destilador y se calcula como:

$$q = \alpha * (T_{pared} - T_{Ambiente lejano}) \quad \text{Ec. 2.25}$$

$$\alpha = N_{uf} * \left(\frac{\lambda_f}{d}\right) \quad \text{Ec. 2.26}$$

$$N_{Uf} = C (G_r * P_r)_f^n * \left(\frac{P_{rf}}{P_{rc}}\right)^{0,25} \quad \text{Ec. 2.27}$$

Donde las constantes C y n dependen del régimen de movimiento y de las condiciones de contorno de la superficie, estas son funciones de GrPr y se determinan por la tabla del anexo 9; y para el cual el valor del complejo se calcula

$$G_r P_r = \frac{g * \beta_f * \Delta t * d^3}{\nu_f^2} * P_{rf} \quad \text{Ec. 2.28}$$

$\Delta t = (T_{pared} - T_{Ambiente lejano})$, diferencia de temperatura.

g : Aceleración de la gravedad

d : Diámetro del intercambiador

ν_f : Coeficiente cinemático de viscosidad (se extrae de la tabla)

P_{rf} : Numero de Prandalt (se extrae de la tabla)

λ_f : Coeficiente de conductividad térmica (se extrae de la tabla)

$$\beta_f = \frac{1}{T_{Amb. lejano} - 273^{\circ} K} \text{ Coeficiente de dilatación volumétrica.} \quad \text{Ec. 2.29}$$

En las ecuaciones anteriores los subíndices “f” y “c” significan que las propiedades físicas del fluido se eligen, de la tabla del anexo 10, para el ambiente lejos de la superficie de intercambio y para el ambiente cercano de la pared respectivamente. Que en el caso de la temperatura se toma 100° C para la pared y 28° C para el ambiente lejano.

Una vez calculada β_f y extraída las demás variables de la tabla se calcula el complejo $(G_r P_r)_f$ se extraen los valores de la tabla del anexo 9, y se escogen “C” igual a 0,75 y “n” igual a 0,25 con lo que se calcula Nusselt N_{U_f} ; y a partir de este se puede calcular q como coeficiente de traspaso de calor por unidad de superficie y conociendo el área se calcula la perdidas Q

Tabla 2.3 Pérdidas calculadas por tipo de destilador.

Fuente: el autor

Capacidad de destilación L/h	Altura (m)	Perímetro (m)	Coeficiente de traspaso de calor q (W/m ²)	área de pérdidas (m ²)	Perdidas de energía (Q) (W/h)
25	0,55	0,23	495,20	0,79	393,40
20	0,55	0,21	495,20	0,73	359,19
10	0,5	0,21	507,14	0,66	334,41
5	0,5	0,19	507,14	0,60	302,56

Donde se pueden apreciar que las pérdidas son proporcionales al tamaño del destilador, el cual está en correspondencia con la capacidad diseñada, estando en el orden de 300 a los 400 Watts

2.2.2.3. Cálculo del consumo de agua y la energía asociada

Para realizar el cálculo de la cantidad de agua, que se necesita hacer pasar por el condensador para convertir el vapor generado en agua destilada, hay que partir de que se conoce el gasto másico de vapor, el cual es igual al gasto másico del destilado, y las entalpías del vapor y el condensado a su respectivas temperaturas, las cuales pueden ser obtenidas de las tablas mostradas en el anexo 8 por lo que se puede aplicar la ecuación 2.30.

$$Q = G_{vapor} * (i'' - i') \quad \text{Ec. 2.30}$$

A partir de aquí y conociendo además las temperaturas de entrada y salida del agua en el intercambiador o condensador y el calor específico de la sustancia las cuales pueden ser obtenida también de las tablas mostradas en el anexo 8, y aplicando la ecuación 2.31:

$$G = \frac{Q}{c_p * (t_{Salida} - t_{Entrada})} \quad \text{Ec. 2.31}$$

Se determina el gasto de agua refrigerante necesaria para el intercambio, mostrando que el índice de consumo es alrededor de 18 litros de agua refrigerante para la obtención de un litro de agua destilada. Apreciándose que existe un alto consumo de agua. Considerando se introduce un nuevo componente energético, consumido indirectamente por concepto de bombeo de agua para el intercambio en el destilador, el cual se calcula por la ecuación 2.32 y mostrado en la tabla 2.4.

$$P = \frac{\Delta p * G}{1000 * \eta} \quad \text{Ec.2.32}$$

Tabla 2.4 Gasto de agua refrigerante y la energía asociada a su movimiento.

Fuente: el autor

volumen destilado (L/h)	Gasto másico de vapor (kg)	Calor transferido Q (kJ/h)	Gasto de agua (G) (L/h)	Índice de Consumo en L/L	Potencia necesaria para bombear el agua (kW/h)
25	24,81	60147,16	450,31	18,01	0,844
20	19,84	48117,73	360,25	18,01	0,675
10	9,92	24058,87	180,12	18,01	0,338
5	4,96	12029,43	90,06	18,01	0,169

Partiendo del gasto hídrico previamente calculado, la diferencia de presión promedio a la que las bombas trabajan y la eficiencia con que lo hacen se obtienen valores entre 150 a 850 Watts consumida en una hora de trabajo, estando en concordancia con la capacidad de destilación del equipo mostrando un consumo considerable y esta agua se desecha después de pasar por el condensador perdiéndose el agua y la energía calorífica asociada.

2.2.2.4. Cálculo teórico del consumo total de energía de un destilador

La energía total asociada al proceso tiene dos componentes; el consumo directo, el cual está relacionado con el consumo energético para la evaporación teniendo en cuenta las pérdidas; y el consumo indirecto el cual está relacionado con la energía necesaria para mover el volumen de agua requerido para la condensación en el condensador.

La suma de estos dos componentes es el consumo total necesario, mostrándose en la tabla 2.5 y denotando que los destiladores convencionales de agua son altos consumidores de energía, presentando un consumo directo entre 0,63 kW/L a 0,68 kW/L de acuerdo a la capacidad del destilador. Además presenta un consumo indirecto por concepto de bombeo de agua entre 33 y 34 W/L por lo que se puede asegurar que el total de la energía necesaria para purificar los

volúmenes diseñados está en el orden de los 680 a 760 Watts de consumo energético por litro de agua destilada.

Tabla 2.5 Consumo total teórico por tipo de destilador.

Fuente: el autor

Capacidad de destilación (L/h)	Energía para de en cambio fase (kW/h)	Perdidas de energía a través de las paredes (kW/h)	Gasto de energía de bombeo por de agua (kW/h)	consumo total calculado en (kW/h)
25	15,55	0,393	0,844	16,78
20	12,44	0,359	0,675	13,47
10	6,22	0,334	0,338	6,89
5	3,11	0,302	0,169	3,8

Tabla 2.6 Consumo total teórico por tipo de destilador.

Fuente: el autor

Capacidad de destilación (L/h)	25	20	10	5	TOTAL
consumo total calculado en por equipo (kW/h)	16,78	13,47	6,89	3,8	10,23
Gasto de agua por equipo en (L/h)	450,31	360,25	180,12	90,06	270,185
Cantidad de equipos	9	80	19	5	113
volumen destilado diariamente en L	2324,25	16528	1962,7	258,25	21073,2
Gasto de energía total diaria (kW)	1560,03	11131,61	1352,3	196,27	14240,21
Gasto de agua diario en m ³	41,87	297,71	35,35	4,65	379,58

Señalando que partiendo del análisis realizado y extrapolando estadísticamente para la población existente; en la provincia de Holguín se laboran 10,3 horas de promedio con una capacidad de destilación de 21 073,2 litros de agua con un consumo estimado de 14 240,21 kW y un consumo de agua de 379,6 m³ de agua como se muestra en la tabla 2.6.

2.2.3. Cálculos de los consumos reales de los destiladores instalados en la provincia Holguín

Mediante el desarrollo experimental se obtuvieron las mediciones, y el resultado de las encuestas aplicadas, permitiendo crear las tablas de resultados para ser procesadas estadísticamente mediante técnicas del Microsoft Office Excel 2007 y realizar las evaluaciones de los consumos reales de los destiladores.

2.2.3.1. Cálculo de los consumos energéticos reales

Con los datos obtenidos de las mediciones realizadas y las ecuaciones que se muestran a continuación se pudo calcular la producción de destilado y el consumo energético de cada destilador.

$$PRODUCCION DE DESTILADO = \frac{(Volumen medido) * 60}{(Tiempo de muestreo en seg).}$$

$$ENERGIA CONSUMIDA = (Voltaje medido) * (corriente medida) * (tiempo)$$

Aplicando adecuadamente la estadística a los datos obtenidos se obtiene la tabla del anexo 11 mediante la cual se calculó el consumo promedio por tipo de equipo, obteniendo los datos que se muestran en la tabla 2.7.

Tabla 2.7 Consumo directo de los destiladores de Holguín por tipo de equipos

Fuente: el autor

Capacidad de destilación (L/h)	Consumo promedio por equipo en kW	producción promedio por equipos en L/h	Consumo por unidad de producción en kW/L
25	8,90	9,12	0,98
20	9,79	11,74	0,83
10	7,54	8,52	0,89
5	2,87	3,92	0,73

Existe un consumo real más bajo que el consumo estimado, de acuerdo a la capacidad a que se diseñaron los equipos; y una producción mucho más baja aún de lo previsto; lo que constituyó la fundamentación del incremento del consumo por unidad de producción, es decir un incremento del índice de consumo.

2.2.3.2. Cálculo real del consumo de agua y la energía asociada

Partiendo de que el consumo del agua de refrigeración además de ser un problema medio ambiental introduce un consumo indirecto de energía, se midió el volumen de agua utilizado; y como es imposible medir el consumo específico para esta actividad, se calculó a partir de la ecuación utilizada en el epígrafe 2.2.2.3.

La energía consumida debido al bombeo de agua para los destiladores reales se mantiene en parámetros similares a los calculados teóricamente pero el potencial de producción se redujo considerablemente, incrementando el índice de consumo energético e hídrico asociada a la destilación, variando el consumo por unidad de producto total, todo lo que se obtiene de los valores mostrados en la tabla 2.8.

Tabla 2.8 Consumo de agua y energía para la condensación

Fuente: el autor

Capacidad de destilación L/h	consumo de agua en L/h	consumo de energía por bombeo del agua W/h
25	472,00	831,44
20	360,35	634,77
10	326,00	574,26
5	72,00	126,83

2.2.3.3. Cálculo del consumo total de un destilador en Holguín

En la tabla 2.9 se muestra el resultado del cálculo del consumo total real del un destilador, el cual se obtiene de la suma del consumo directo e indirecto obtenido del promedios de los datos obtenidos en las mediciones.

Tabla 2.9 Consumo real total de un destilador en Holguín

Fuente: el autor

calculo de los consumos totales reales					
Capacidad de destilación (L/h)	producción promedio por equipos en L/h	Consumo energético promedio por equipo en kW/h	consumo de energía por bombeo del agua W/h	consumo total en kW/h	Consumo por unidad de producción en kW/L
25	9,12	8,938	831,44	9,77	1,07
20	11,74	9,742	634,77	10,38	0,88
10	8,52	7,583	574,26	8,16	0,96
5	3,92	2,862	126,83	2,99	0,76

Determinándose que los consumos y producciones están por debajo de los valores esperados, pero demostrándose la existencia de un deterioro de la eficiencia energética, condicionada por elementos externos al proceso.

2.2.4. Análisis de los elementos que inciden en el exceso de consumo

Realizar comparaciones de consumo entre procesos con diferentes niveles de producción es inadecuado, pues se debe partir de iguales parámetros para comparar, por lo que se utilizó el índice de consumo energético e hídrico de destilado que permite analizar la eficiencia de cada proceso, permitiendo las comparaciones entre los destiladores con diferentes volúmenes de producción.

En las gráficas 2.1 y 2.2 se muestra la comparación entre el valor teórico calculado, el valor dado por el fabricante y los valores reales medidos, por unidad de destilado, donde se muestra la diferencia de consumo de cada uno de los destiladores existentes.

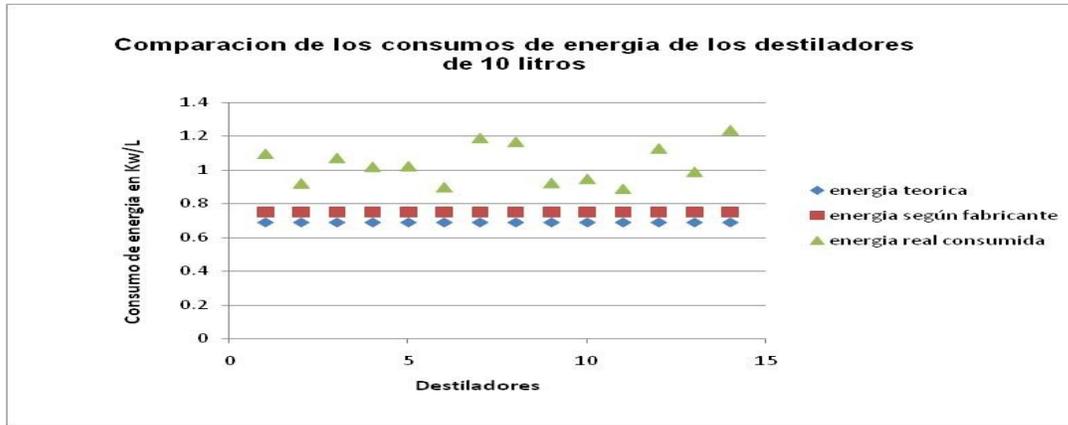


Fig. 2.1 Consumo de energía, teórico, del fabricante y real de los destiladores de 10 litros

Fuente: el autor

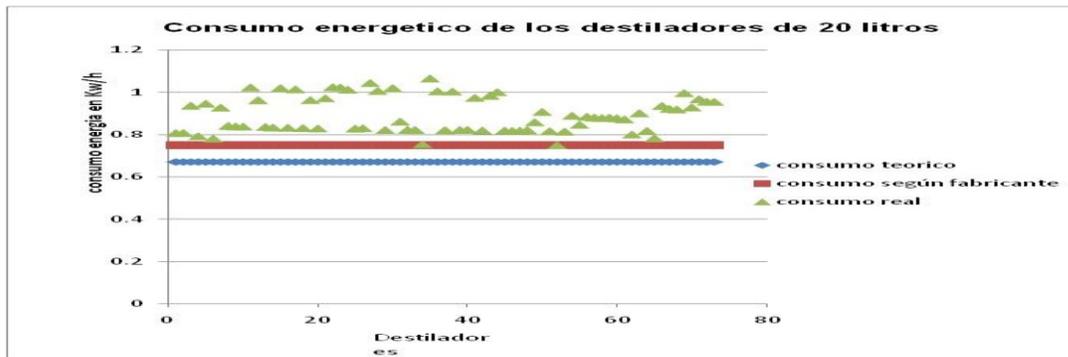


Fig. 2.2 Consumo de energía, teórico, del fabricante y real de los destiladores de 20 litros

Fuente: el autor

En estos gráficos se puede apreciar que existe una gran variación de los índices de consumo de los destiladores aun cuando son de la misma capacidad, lo que hace predecir que existen causas que varían el consumo de los destiladores afectando su eficiencia. Auxiliándose de las experiencias acumuladas por los especialistas, la observación, y el análisis de los datos obtenidos en las encuestas, se orienta la evaluación hacia la incidencia del grado de incrustación que poseen y la separación del criterio de diseño a que funcionan.

2.2.4.1. Evaluación de la incidencia del grado de incrustación

Aplicando las técnicas estadísticas entre el volumen destilado y el consumo total calculado para un destilador sin incrustaciones se puede encontrar la curva de correlación la cual se muestra en la figura 2.3

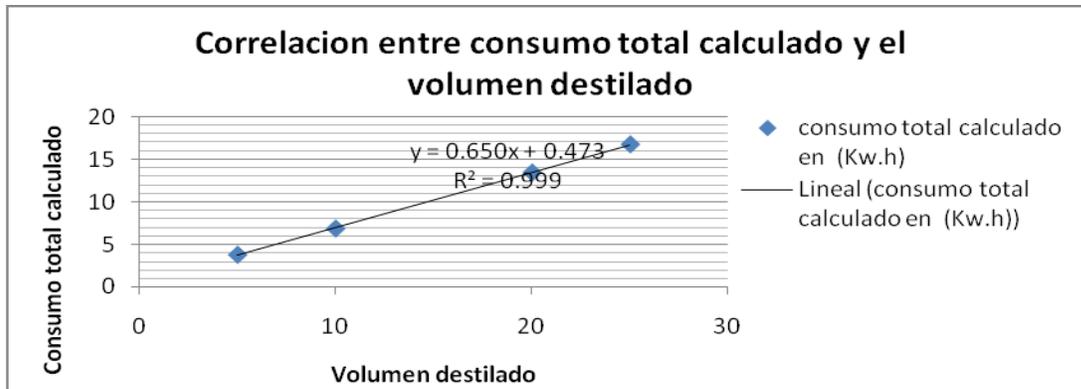


Fig. 2.3 Correlación entre el consumo total calculado y el volumen destilado.

Fuente: el autor

A partir de la cual se permite evaluar cualquiera de los casos específicos encontrados en la muestra. Siendo la ecuación de correlación lineal igual a:

$$Y = 0,650X + 0,473$$

Donde “Y” sería el consumo total calculado y “X” el volumen destilado. Pudiéndose calcular cualquiera de los consumos necesarios para los diferentes valores del destilado.

Conociendo que todos los destiladores están funcionando sin pretratamiento de agua lo cual genera incrustaciones en las resistencias, y afecta la transferencia de calor, se designan los diferentes grados de incrustación y se evalúa gráficamente, mediante las gráficas de correlación. Por lo que partiendo de la curva obtenida anteriormente se le añade la serie correspondiente, obtenida de las tablas para los diferentes grados de incrustaciones declarados obteniéndose los gráficos que se muestran en la fig. 2.4, 2.5, 2.6.

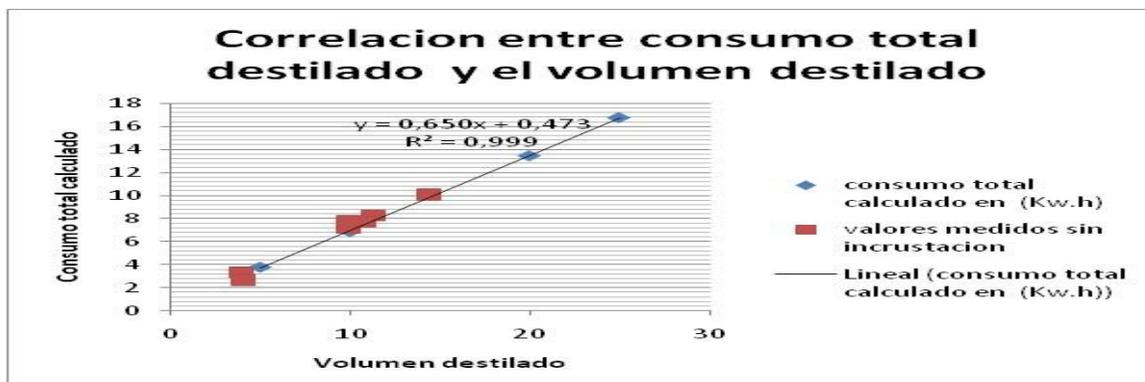


Fig. 2.4 Correlación del destilado y el consumo sin incrustación

Fuente: el autor

Mostrándose claramente la relación existente, al aumentar el grado de incrustación existe una separación de los valores obtenidos en la medición, por la parte superior de la curva de correlación calculada, lo que quiere decir que existe un mayor consumo de los destiladores para obtener los mismos volúmenes de agua destiladas.

Pero además se puede apreciar que a pesar de no existir diferencias entre los destiladores sin incrustaciones, existen diferentes valores de consumo, lo que muestra la existencia de al menos otro elemento que lo distorsiona llevando el análisis hacia el grado de separación del criterio de diseño.

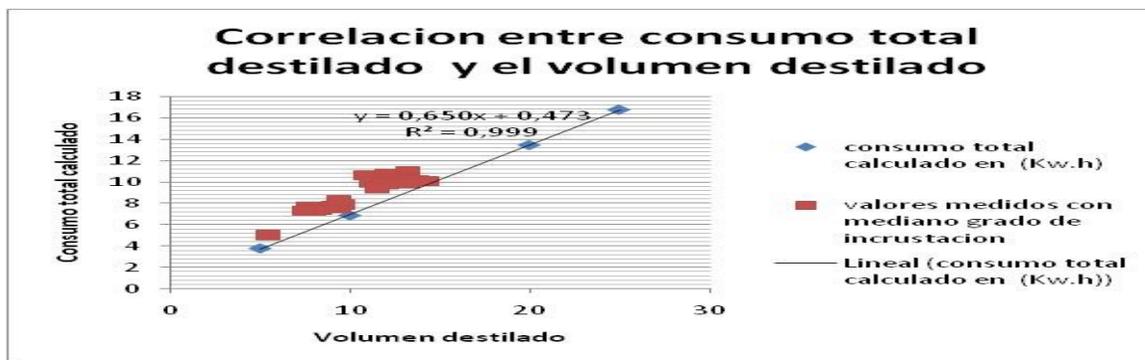


Fig. 2.5 Evaluación de la correlación entre el consumo total calculado y el volumen destilado para mediano grado de incrustación

Fuente: el autor

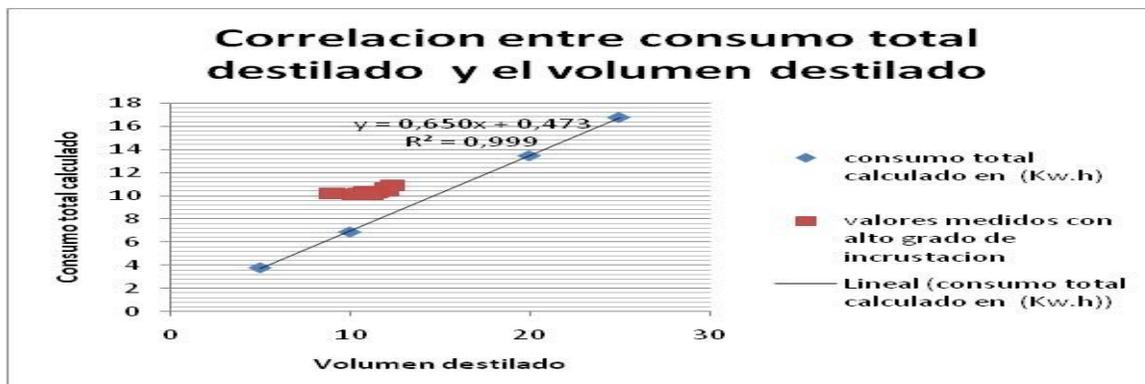


Fig. 2.6 Correlación del destilado para un alto grado de incrustación

Fuente: el autor

2.2.4.2. Evaluación de la incidencia del grado de separación del criterio de diseño.

Los fabricantes diseñan los destiladores partiendo de condiciones técnicas específicas, las cuales deben de garantizarse en su instalación, para obtener los

índices de producción esperados. Pero en las unidades de salud holguineras existen insuficientes garantías para cumplir las condiciones técnicas exigidas, lo que genera, que para la explotación de estos equipos, se adopten medidas que los obligan operar alejados del criterio de diseño como son:

- insuficiente capacidad de potencia eléctrica para instalarlo a plena carga,
- insuficiente presión de suministro de agua que garantice los flujos necesarios para la condensación provocándose descompensaciones térmicas que imposibilitan el funcionamiento,
- calibres de alambres inadecuados para el consumo energético necesario.

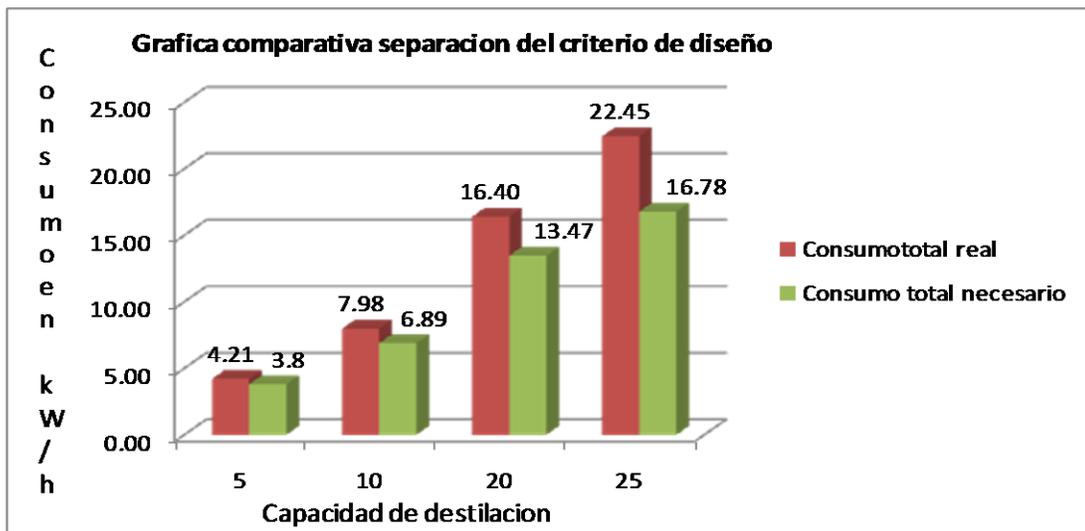
De las pesquisas realizadas se pudo apreciar que para su instalación exitosa, se modifican los criterios de diseño en cuanto a potencia eléctrica, disminuyendo el número de resistencias de trabajo sin un análisis energético del proceso. Lo que genera, que para obtener los mismos volúmenes de agua destilada, se incrementen las pérdidas a través de las paredes; y los consumos de agua refrigerante, haciéndose un análisis de los mismos a través de la tabla mostrada en el anexo 12.

Se observa que se disminuye arbitrariamente la potencia, lo que genera incremento de los índices de consumo energéticos e hídricos, ya que se incrementa el tiempo de obtención de los volúmenes y como las pérdidas a través de las paredes se mantiene constante, y además no se ajusta el consumo de agua refrigerante, para la condensación.

De la grafica de correlación del anexo 13 donde no hay incrustaciones, no es fácil de apreciar la diferencia de consumo para los diferentes grados de separación de los criterios de diseño por lo que se utiliza otro método estadístico comparativo como es el método de barras en el cual se compara la energía calculada para la obtención de los volúmenes reales y la energía consumida real para destilar dichos volúmenes y los cuales son mostrados en la fig. 2.7

Fig. 2.7 Grafico comparativo entre la energía calculada y energía real consumida teniendo en cuenta el grado de separación del diseño.

Fuente: el autor



Partiendo de los valores obtenidos para consumo total necesario y el total consumido, se puede apreciar que en la medida que hay una mayor diferencia entre el diseño del equipo y la capacidad de explotación real, se enfatizan las diferencias de consumo lo que significa mayores pérdidas totales, este grado de separación del criterio de diseño fue extraído de la tabla y solo se pudo comprobar para 4 categorías.

2.2.5. Evaluación ambiental

La evaluación ambiental es una de las validaciones a tener en cuenta en la aplicación de las PML, siendo imprescindible la obtención de resultados positivos con las medidas propuestas, por tal motivo se realiza una evaluación sobre la posible contaminación ambiental de los destiladores de acuerdo al comportamiento teórico y real.

2.2.5.1. Evaluación ambiental teórica

Una vez obtenidos los consumos energéticos se aplican las ecuaciones de cálculo de emisiones de CO₂, SO₂ y NO₂ equivalentes al consumo [33] [49] y se puede realizar la evaluación de la contaminación ambiental producida por los destiladores convencionales, además de evaluar los altos consumos de agua los cuales se vierten como desecho.

Emisión de CO₂

La emanación total de CO₂ resultante de la explotación del destilador, pueden considerarse a partir del criterio de que 0,65 kg CO₂ / kW-h de generación son emanados a la atmósfera [33], luego aplicando la siguiente ecuación:

$$E_{CO_2} = (\text{índice de emanaciones de CO}_2)^* (\text{consumo de energía}) \quad \text{Ec. 2.33}$$

Emisión de SO₂

Según [49] las emanaciones de óxido de azufre pueden calcularse por la ecuación 2.33:

$$E_{SO_2} = 20 S^t * B (1-f_{SO_2}) \text{ g/s} \quad \text{Ec. 2.34}$$

donde:

$S^t = 3 \%$: contenido de azufre en la masa de trabajo del combustible (Aguirre A., 1987);

B : consumo de combustible equivalente (kg/s) a la energía eléctrica consumida (en kW);

$f_{SO_2} = 0,02$: fracción de los óxidos de azufre retenido por las cenizas (Oliva, L. et al., (1988));

$$B = 0,3 \cdot 926 = 278 \text{ kg}$$

Sustituyendo en (1):

$$E_{SO_2} = 163,4 \text{ g} = 0,16 \text{ kg}$$

Emisión de NO₂

Las emanaciones de oxido de nitrógeno pueden calcularse por la expresión (Abdala J. L., Fonseca S. (2003)):

$$E_{NO_2} = 0,034 \beta_1 KBQ_b (1-q_4 / 100)(1-\beta_2 r)\beta_3 \text{ (g/s)} \quad \text{Ec. 2.35}$$

donde:

$\beta_1 = 1,05$: coeficiente de corrección que considera la influencia del contenido de nitrógeno en el combustible sobre la emisión de los NO₂

$\beta_2 = 0,025$: coeficiente adimensional que caracteriza la influencia de recirculación de gases,

$\beta_3 = 1$ (para quemadores de remolino): coeficiente que considera características constructivas del quemador,

$r = 0,2$: relación de flujos de gases de la combustión y flujo convectivo,

$q_4 = 0,5$: pérdidas por combustión incompleta mecánica,

$Q_b = 41,8$ MJ/kg: valor calórico bajo del combustible,

K : cantidad de óxido de nitrógeno producida durante la combustión de 1 ton de combustible condicional. Se determina experimentalmente, y de forma aproximada se puede calcular por las ecuaciones:

$K = 12 \cdot D_r / (200 + D)$ para generadores de vapor con capacidad nominal mayor que 70 t/h.

$K = 3,5 \cdot D_r / 70$ para generadores de vapor con capacidad nominal menor que 70 t/h.

Siendo D y D_r las capacidades nominal y real del generador de vapor respectivamente en t/h.

Para el análisis realizado por el autor se asume $K = 4,4$

Aplicando las ecuaciones anteriores para el cálculo de las Emanaciones de CO_2 , SO_2 y NO_2 de un destilador en su tiempo de explotación durante un año se obtiene la tabla 2.10.

Tabla 2.10 Emanaciones de contaminantes ambientales para un destilador durante un año.

Fuente: el autor

Capacidad de destilación L/h	consumo energético estimado kW	Emanaciones de CO_2 anuales kg	Emanaciones de SO_2 anuales kg	Emanaciones de NO_2 anuales kg
5	8 448	5 491,20	1,49	16,47
10	16 896	10 982,40	2,98	32,95
20	33 792	21 964,80	5,96	65,90
25	42 240	27 456,00	7,45	82,37

De la tabla se puede deducir que existe un alto grado de contaminación asociado a la energía consumida por los distintos destiladores en un año de explotación por lo que teniendo en cuenta los 113 destiladores que existen en la provincia se puede calcular la contaminación equivalente a los consumos para esta tecnología como se muestra en la tabla 2.11.

Tabla 2.11 Emanaciones teóricas de contaminantes ambientales para un destilador durante un año.

Fuente: el autor

Capacidad de destilación L/h	consumo energético estimado (kW)	Emanaciones de CO ₂ anuales kg	Emanaciones de SO ₂ anuales kg	Emanaciones de NO ₂ anuales kg
5	22 640,64	27 456,0	7,45	82,35
10	172 068,86	208 665,6	56,62	626,05
20	1 449 000,96	1 757 184,0	476,80	5 272,00
25	203 765,76	247 104,0	67,05	741,33
Total	1 847 476,22	2 240 409,6	607,92	6 721,73

2.2.5.2. Valoración ambiental real

Haciendo similar análisis al epígrafe anterior se hace la evaluación para la condición real de la muestra; y aplicando los métodos estadísticos se obtiene el estimado real de contaminación que produce la población existente en la provincia, como se muestra en la tabla 2.12.

Tabla 2.12 Emanaciones de contaminantes ambientales para un destilador durante un año.

Fuente: el autor

PARÁMETROS	EMANACIONES ANUALES kg	EMANACIONES POR UNIDAD DE PRODUCTOS kg/L
ECO ₂	2 048 752,35	0,5504
ESO ₂	555,99	1 x 10 ⁻⁴
ENO ₂	6 146,68	17 x 10 ⁻⁴

2.2.6. Valoración total del sistema de destilación provincial.

Obtenidos los consumos de energía y agua, reales y teóricos, para los destiladores convencionales, además de la contribución a la contaminación ambiental en que intervienen, se realiza una evaluación integral del proceso para teniendo en cuenta los valores calculados previamente y los obtenidos mediante las mediciones, obteniéndose una valoración energética general. Se realizó una comparación entre el consumo energético estimado, y el consumo real para la producción de agua purificada que se utiliza, obteniendo la diferencia de energía existente que constituirá el recurso posible a economizar, para lograr el incremento de la eficiencia energética.

Partiendo de los consumos teóricos y reales correlacionados estadísticamente con las producciones teóricas y reales respectivamente, se obtienen las curvas con sus ecuaciones que correlacionan las diferentes magnitudes.

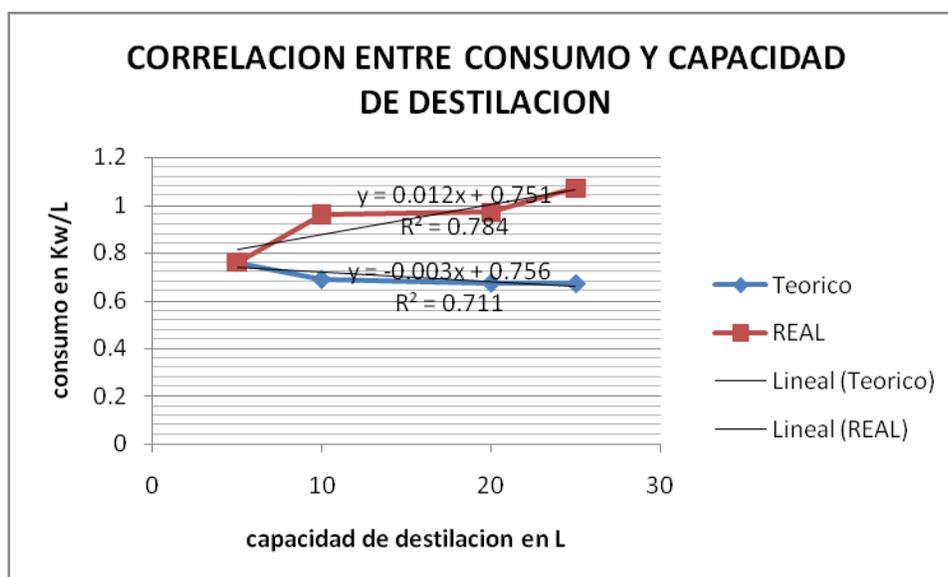


Fig. 2.8 Correlación entre el consumo total calculado y el volumen destilado más los valores obtenidos en destiladores con mediano grado de incrustación

Fuente: el autor

De esta correlación se puede apreciar que existe una tendencia al incremento del consumo real con el incremento de la capacidad de destilación, mientras la curva del cálculo teórico muestra una pendiente negativa, significando la disminución del consumo energético con dicho incremento de la capacidad de

producción, por lo que se hace necesario calcular el estimado del consumo real provincial y el consumo teórico estimado para obtener el consumo en exceso que serán las premisas de ahorro de este trabajo.

Partiendo de la cantidad real de destiladores existente en la provincia y de los valores obtenidos mediante la medición experimental y la encuesta; se obtiene el valor medio de consumo energético por destilador, el promedio de las horas trabajadas diarias, semanales y anuales y a partir de aquí se puede calcular el consumo real total estimado.

Además conociendo la cantidad por tipos de destiladores, los volúmenes purificados por ellos y la potencia para la que fueron diseñados se calcula el consumo teórico estimado, pudiendo realizarse una comparación entre ellos mostrando la diferencia que se muestra a continuación,

Tabla 2.13 Emanaciones de contaminantes ambientales para un destilador durante un año.

Fuente: el autor

Parámetros	Consumo diario en kW	Consumo semanal en kW	Consumo anual en kW
Consumo estimado real	10564,37	64229,2	3337284,37
Consumo estimado teórico	5844,3	35517,3	1846898,6

Lo que muestra un consumo de más del 80 % de energía en la destilación real que la que se debe de consumir de acuerdo a los datos del fabricante como se muestra en la figura 2.9.

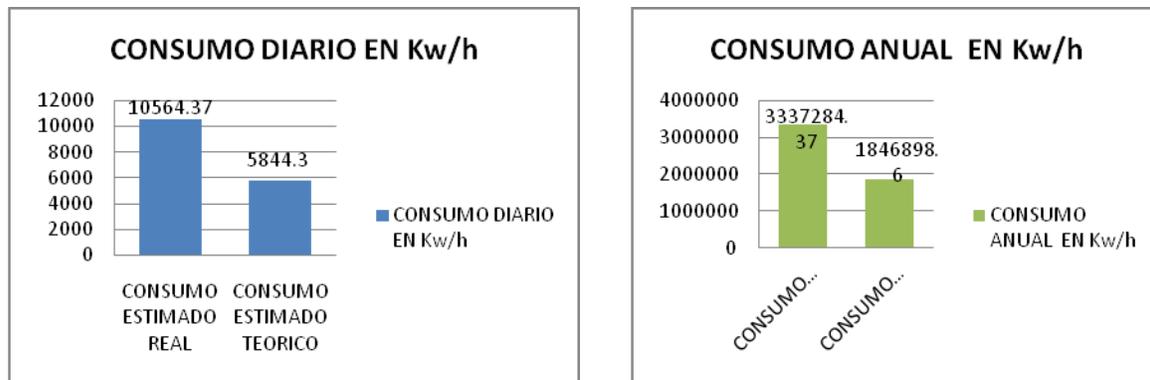


Fig. 2.9 Grafico comparativo entre la energía consumida para los estimados teóricos y reales.

Fuente: el autor

De aquí se puede apreciar que diariamente existen alrededor de 4 700 kW que se consumen por encima de lo planificado siendo un potencial de ahorro que puede significar al año alrededor de 1 500 000 kW de ahorro de energía.

2.3. Posibilidades de solución para el alto consumo energético de los destiladores convencionales

El análisis permitió evaluar la situación real que presentan los destiladores de la provincia de Holguín, presentando dos aspectos a considerar; los consumos necesarios para lograr los volúmenes de agua purificada a utilizar, el cuál implícitamente es considerablemente elevado, debido a las propiedades intrínseca del agua; y otro que se considera como exceso de consumo, debido a las malas prácticas utilizadas. Además se conoce también que el proceso de funcionamiento de los destiladores presenta pérdidas residuales de agua y energía, cuyas magnitudes son considerables.

Partiendo del objetivo de disminuir los consumos de forma inmediata y que paulatinamente se optimice el proceso, se proponen tres vías alternativas de disminuir el consumo, aplicando las PML:

- Las buenas prácticas de producción
- La reutilización de los residuales
- La sustitución de tecnología

Técnicas que a continuación se explican para los casos específicos analizados las cuales pueden ser utilizadas escalonadamente por separado, o

combinándose entre ellas, para obtener el objetivo propuesto acorde a la disponibilidad de los recursos para obtener la solución definitiva al problema.

2.3.1. Buenas prácticas de producción

Basado en las experiencias, el análisis, la información técnica y el estudio de la explotación de los destiladores convencionales se confeccionó un manual de buenas prácticas el cual se muestra en el anexo 14 que permite evaluar los procesos de destilación convencionales en las distintas áreas de salud para identificar los aspectos que generan excesos de consumo energéticos e hídricos, permitiendo para evaluar integralmente sus causas; y ajustándose a los recursos disponibles, proponer una medida para lograr la disminución del consumo, con la ventaja de que pueden realizarse tantos análisis cíclicamente como voluntad exista para disminuir el consumo. Por lo que en un periodo de un año se puede reducir el consumo en aproximadamente 1 200 000 kW que es más del 60 % del exceso de consumo energético de esta tecnología. Pero además se puede disminuir el consumo de agua en 34 000 m³

2.3.2. Reutilización de los residuales

En el proceso de destilación convencional es necesario utilizar una circulación de agua refrigerante para absorber la energía contenida en el vapor, para poder llevarlo nuevamente a su forma líquida, el volumen de esta circulación de agua es de alrededor de 20 litros por litros de agua purificada, lo que puede significar un valor promedio de 1200 m³ de agua por unidades destilador al año. Pero esta agua en su interacción con el vapor absorbe energía elevando su temperatura a un valor promedio de 50 °C.

Partiendo de la premisa que las aguas térmicamente alteradas se le conocen como aguas servidas y tienen un uso limitado. Pero además en una unidad de salud constituye alrededor de 4 m³; se propone recolectarla mediante un sistema como el mostrado en el anexo 15, que permita su reutilización en actividades de la institución, priorizando la utilización de la energía asociada a ella.

Esta energía puede ser utilizada por un intercambiador para incrementar la temperatura de otros procesos, cuya temperatura este por debajo de la

temperatura del agua residual, por ejemplo en los baños de maría, además se puede utilizar para precalentamiento de agua destinada a procesos térmicos como calentadores de agua, etc., lo que puede permitir reducir el consumo en aproximadamente 1500 kW al año por cada destilador.

Esta técnica permitiría utilizar el agua en el 100 % de su desecho pues una vez almacenada puede utilizarse en el baño de paciente, en el fregado de utensilios o la limpieza en general lo que significaría un ahorro de alrededor de 85000 m³ al año.

2.3.3. Cambio de tecnología.

Partiendo del criterio que el proceso de destilación es un proceso altamente consumidor y subordina la calidad de su salida a la calidad del agua de entrada; deteriorando sus consumos producto de su funcionamiento con agua dura, exigiendo un sistema de pretratamiento del agua de entrada.

Conociendo además que el desarrollo tecnológico ha creado sistemas de purificación de agua altamente eficientes energéticamente, se evaluaron las exigencias de las calidades de agua necesarias en las unidades de salud y se determinó la existencia de varias tecnologías que cumplen con los parámetros exigidos, como son la electro desionización, la destilación por termo compresión, la ósmosis inversa, etc.

2.3.3.1. Ósmosis inversa

En la actualidad existen varios procesos que purifican el agua con una calidad superior a los destiladores convencionales, pero de acuerdo a las normas cubanas y a las regulaciones del Centro de Control de Equipos Médico (CCEM), toda tecnología a introducir en Cuba para su utilización como equipos médicos o que intervenga en un proceso sanitario, requiere de un mecanismo de validación. Hoy las plantas de Ósmosis Inversa están validadas por los organismos reguladores competentes, para su utilización directa en el suministro de agua purificada a las maquinas de hemodiálisis, pues las misma cumplen con las regulaciones existentes para esta función.

Estas plantas en sus inicios eran muy voluminosas, y costosas económicamente por lo que se adquirían para uso de múltiples maquina de hemodiálisis, pero el desarrollo tecnológico ha permitido que se reduzca su tamaño así como su costo lográndose producir plantas con capacidad de producción de 50 L/h, con monitoreo constante de los principales parámetros. Hoy estas plantas solo existen en los centros Hospitalarios donde existe servicio de hemodiálisis, pues no se han introducido en otros servicios por haber sido evaluadas bajo un erróneo concepto económico y sanitario.

En el sistema nacional de salud no se hacían evaluaciones energéticas del equipamiento médico, y solo se realizaban análisis técnicos-funcionales, o operacionales-resolutivos lo cuales generaban propuesta de cambio de determinada tecnología, pero nunca se habían hecho evaluaciones para el cambio por un exceso de consumo.

Una vez evaluado los destiladores convencionales e identificados como altos consumidores aun en el caso de máxima eficiencia, permite hacer evaluaciones económicas que permitan proponer cambiar la tecnología por otra que brinde calidades similares de agua, pero que reduzca su consumo energético.

Teniendo en cuenta las regulaciones de los organismo competentes, la aprobación de la ósmosis inversa por el CCEM y haciendo la evaluación técnica de esta tecnología y se propone introducirla en todas las unidades de salud de la provincia. Como referencia se tomó una planta de Ósmosis Inversa Marca: FRESENIUS Modelo: AquaUNO que ya existe en nuestro sistema de salud y la cual presenta cualidades excepcionales de purificación, presentando en la fig. 2.7 un diagrama funcional de esta planta, la cual se descompone en diferentes módulos los cuales tienen una función específica en el proceso y se describen a continuación.

Descripción funcional

El agua de entrada fluye a través del sensor de conductividad LF_{RW} , la válvula de entrada de agua VI y la válvula de control de flujo del agua de entrada hacia el

tanque recolector *B1*. El nivel del agua es monitoreado por los sensores de nivel los cuales discriminan en tres niveles:

Nivel 1 protección de funcionamiento del sistema sin agua.

Nivel 2 detección de nivel de medio tanque

Nivel 3 detección de nivel de tanque lleno.

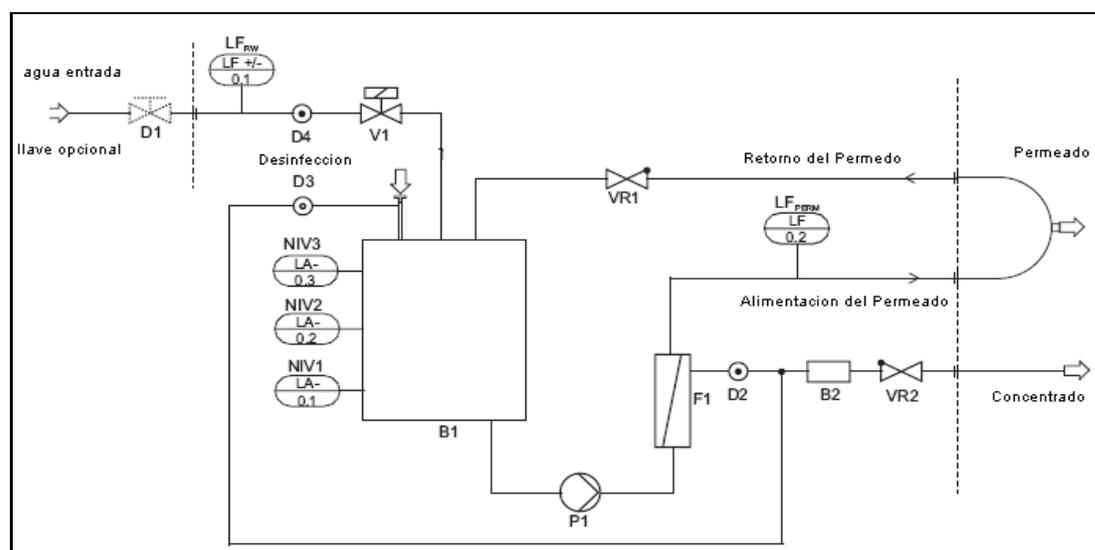


Fig. 2.7 Grafico de una planta de ósmosis inversa.

Fuente: Fresenius Medical

El agua se bombea hacia la membrana de Ósmosis Inversa a una presión determinada donde se separa en permeado y concentrado. El permeado fluye a través del sensor de conductividad del permeado LF_{PERM} hacia la salida, retornando hacia el tanque vía la válvula cheque, el no utilizado.

El flujo de concentrado pasa a través de la válvula de control del drenaje de concentrado $D2$ y entonces se divide en dos flujos uno es retornado al tanque vía la válvula de control de retorno del concentrado $D3$ y el otro pasa a través de la cámara de enfriamiento del motor de la bomba $B2$ y va al drenaje.

Durante la limpieza, desincrustación o desinfección se alimenta el agente utilizado a través del puerto hacia el tanque y a partir de ahí el proceso se realiza automáticamente.

LEYENDA

D ₁	Válvula de control de agua de entrada (opcional)	B ₂	Cámara de enfriamiento del motor
D ₂	Válvula de control del drenaje del concentrado	P ₁	Bomba
D ₃	Válvula de control del retorno del concentrado	F ₁	Membrana de intercambio
D ₄	Válvula de control del flujo de entrada	VR ₁	Válvula cheque del permeado
LF _{RW}	Sensor de conductividad del agua de entrada	VR ₂	Válvula cheque del concentrado
LF _{PERM}	Sensor de conductividad del permeado	NV ₁	Sensor de nivel 1
V ₁	Válvula de entrada del agua de alimentación	NV ₂	Sensor de nivel 2
B ₁	Tanque	NV ₃	Sensor de nivel 3

Esta planta tiene las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 2.14 Parámetros técnicos la Ósmosis Inversa AquaUno.

Fuente: Fresenius Medical

Parámetro	Valor
Salida del permeado	Aprox. 50 L/h
Presión en el permeado	Aprox. 2 Bar
Eficiencia	hasta el 50 %
Razón de rechazo	Típico 95 %
Perdida de agua	Aprox. 70 L/h
Consumo de potencia	Aprox. 300 W
Valor del pH a 25 °C	Entre 4,5 – 7,0
Conductividad eléctrica del agua en μS	< 1,5

2.3.3.1.1. Evaluación energética de la ósmosis

La ósmosis inversa propuesta, es una tecnología que eléctricamente un motor para la bomba de 300 Watts, la cual eleva la presión del agua, para sobrepasar la presión osmótica; y un controlador de 18 Watts para el control del proceso y monitoreo de los parámetros. Partiendo de este criterio la ósmosis consume 318 W/h y considerando que el tiempo de trabajo promedio de la ósmosis será entre 3 y 4 horas, para obtener los valores promedio de agua purificada; se calcula un consumo máximo estimado diario de 1300 W como consumo directo.

Además existe un consumo indirecto como resultado del bombeo de agua a utilizar por la planta, que para una eficiencia hidráulica del 40 % y manejando los volúmenes de purificación que se utilizan hoy; significa un consumo de 350 W al día. Considerando como consumo energético máximo de la ósmosis 1,7 kW diario significando un consumo anual para el total de la instalación de aproximadamente 58 MW anuales.

2.3.3.1.2. Evaluación ambiental de la ósmosis

Haciendo similar análisis al realizado para la destilación, se hace la evaluación para las condiciones estimadas de la ósmosis inversa y aplicando el método de contaminación por consumo equivalente se obtienen los valores diarios y anuales de contaminación de CO₂, SO₂ Y NO₂ cuales se muestran en la tabla 2.15.

Tabla 2.15 Emanaciones de contaminantes ambientales para una ósmosis inversa un año.

Fuente: el autor

PARÁMETROS	EMANACIONES ANUALES	EMANACIONES POR LITRO
ECO ₂ en kg	71604	0,03
ESO ₂ en kg	19,43	8,1 x 10 ⁻⁶
ENO ₂ en kg	214,83	0,9 x 10 ⁻⁶

2.3.3.1.3. Evaluación económica.

La aplicación de las PML presupone que para la puesta en práctica de una propuesta de cambio de tecnología, es necesario hacer un balance económico de su factibilidad. El autor se basó en el método del valor presente neto, utilizando los siguientes parámetros

Valor Presente Neto (VPN)

Esta técnica se basa en calcular el valor presente neto de los flujos de caja proyectados para todos los años durante el período de evaluación del proyecto. Es una medida de las ganancias que puede reportar el proyecto, se determina como [3]:

$$VPN = -K_o + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+D)^i} \quad \text{Ec. 2.36}$$

Donde:

Ko- Inversión o capital inicial.

FCi- Flujo de caja en el año i.

D- Tasa de descuento real utilizada

de forma general, el flujo de caja se puede calcular como:

$$FC_i = (I_i - G_i - Dep) \cdot \left(1 - \frac{t}{100}\right) + dep \quad \text{Ec. 2.37}$$

Donde:

I- Ingresos en el año i, \$

G- Gastos en el año i, \$.

t- Tasa de impuestos sobre ganancia, %.

dep- Depreciación del equipamiento o amortización de la inversión.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

Se define como aquella tasa de descuento que reduce a cero el Valor Presente Neto. En términos económicos, la TIR representa el porcentaje o tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de una inversión y se determina analíticamente la TIR como [3]:

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+TIR)^i} \quad \text{Ec. 2.38}$$

Como se puede observar, esta ecuación no se puede resolver directamente, sino que se requiere de un análisis iterativo para obtener el valor de la TIR.

Período de Recuperación de la Inversión (PRI)

Es el tiempo en que se recupera la inversión inicial para una tasa de descuento D considerada. Se calcula como el momento para el cual el VPN se hace cero [3].

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+D)^i} \quad \text{Ec. 2.39}$$

Esta ecuación también se resuelve analíticamente

Definición de los parámetros iniciales

Ingresos

Ingresos = (Ahorro en kW) x (precio promedio del kW)

Ahorro = Consumo actual del destilador

Ahorro = 3 337 284,8 kW/año

Ingresos = 3 337 284,8 kW /año * 0,44 pesos/ kW [3].

Ingresos = 1468405,31 pesos/año

Gastos

Gastos = Consumo en kW * precio promedio del kW

Consumo en kW = consumo de las ósmosis

Consumo en kW = 57 630 kW/año

Gastos = 57 630 kW/año * 0,44 pesos/ kW [2]

Gastos = 25 367,20 pesos/año

Costo de la inversión (K₀)

K₀ = Precio de una planta * total de plantas

K₀ = 15 000 pesos/planta * 113 plantas

K₀ = 1 635 000 pesos

Vida útil estimada: en los equipos medico, los fabricantes de los mismos garantizan un periodo de vida útil de 10 años.

Tabla 2.16. Datos iniciales para el cálculo económico.

Fuente: el autor

Ingresos (I), \$	\$ 1468405,31
Gastos (G), \$	\$ 25 367,20
Costo inversión (Ko)	\$ 1 635 000,00
Tasa de descuento (r) , %	12 %
Tasa de inflación (f), %	7 %
Margen de riesgo, %	3 %
Tasa de impuesto (t), %	0 %
Vida útil estimada, años	10 años

Con los datos iniciales obtenidos y desarrollando las ecuaciones 2.36, 2.37, 2.38 y 2.39 se obtienen los datos mostrados en la tabla del anexo 16 lo que muestra que los flujos de caja son de \$ 1 443 047,76 lo que permite recuperar la inversión en un año de explotación de la nueva tecnología, permitiendo ahorrar en el periodo de vida útil de las plantas un total de \$ 8 946 522,60 con una TIR del 80% como se muestra en anexo 17

2.4. Comparación de tecnología

Una vez demostrada la factibilidad económica se confecciona la tabla 2.13 para demostrar la factibilidad técnica, quedando como se muestra

En la comparación de la tecnología actual y propuesta se puede apreciar que la ósmosis inversa tiene resultados técnicos muy similares a la tecnología actual, permitiendo su uso como sistema de purificación de agua, mostrando grandes ventajas en los consumos eléctricos los cuales están por debajo del 2 % de la energía total consumida por los destiladores. Además las pérdidas de agua están por debajo del 15 % del consumo total de los destiladores lo que anualmente significará un ahorro energético mayor a los 3 250 MW y un ahorro de agua de alrededor de los 80 000 m³.

Tabla 2.13 comparación de tecnología

Fuente: El autor

Equipos	Planta de ósmosis inversa	destiladores convencionales
Productividad	50 L/h Max.	25 L/h Max.
Pérdida de agua	70 L/h típico	500 L/h típico
Consumo energético	300 Watts	18000 Watts
índice de consumo energético	6 W/L	720 W/L
índice de consumo de agua	2,4 L/L	20 L/L
PH a 25° C	Entre. 4,5- 7	Aprox. 4,6
Conductividad eléctrica	Aprox 1,5	< 1

2.5. Conclusiones del capítulo

1. Se logra diseñar un experimento que proporciona los datos necesarios para evaluar energéticamente la destilación.
2. Se determina un componente energético en el consumo de agua que afecta el consumo general del proceso.
3. Las variables que tienen una mayor influencia en la destilación son las incrustaciones y el grado de separación del criterio de diseño.
4. Los destiladores por ser altos consumidores influyen negativamente en el medio ambiente a través del consumo de 85 000 m³ de agua y el aporte de más de 2 000 000 kg de CO₂; 500 kg SO₂ y 6 000 kg de NO₂ al año.

CONCLUSIONES

1. Los destiladores convencionales de agua son equipos altos consumidores de agua por naturaleza con índices de consumo entre 0,67 y 0,76 kW/L, y en Holguín su eficiencia se deteriora a índices de consumo entre 0,76 y 1,07 kW/L.
2. Existe un sobre consumo energético, debido a la purificación de agua en las unidades de salud de Holguín, del 180 % lo que significa un sobre consumo anual de 1 510 000 kW
3. Mediante la aplicación de las técnicas de PML y sus alternativas se puede reducir los consumos energéticos en un 40 y/o 95 % de la energía consumida.
4. El cambio de tecnología de la destilación por la ósmosis inversa presenta factibilidad económica y técnica, recuperando la inversión en apenas 1 año y garantizando un ahorro mayor al 95 % del consumo total por lo que consideramos la medida optima a aplicar.

RECOMENDACIONES

1. Presentar este trabajo a todos los niveles posibles para demostrar y sensibilizar los criterios del personal encargado de la toma de decisiones de sustitución tecnológicas.
2. Gestionar financiamiento a través de un proyecto que garantice la sustitución tecnológica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Albert Disotuar, O “Metodología para el cálculo de las pérdidas energéticas en los destiladores convencionales de agua” La Habana 2007
- [2] *Bérriz Pérez, Luis.* “La energética sustentable en el siglo XXI”. *Doctor en Ciencias Técnicas. Presidente de CUBASOLAR.*
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia37/HTML/articulo08.htm>.
- [3] Borroto Nordelo, Aníbal E. y Colectivo de Autores [2002] *Gestión Energética Empresarial.* CEEMA Universidad de Cienfuegos, ISBN 959-257-040-X. Editorial Universidad de Cienfuegos. 2002.
- [4] Borroto Nordelo, Aníbal E. y Colectivo de Autores “Gestión Energética en el sector productivo y los servicios”. CEEMA, Universidad de Cienfuegos, ISBN 959-257-040-X. Editorial Universidad de Cienfuegos. Cuba, 2006
- [5] Campos Rosa E. y conjunto de autores “Caracterización energética del Proceso de destilación de agua contaminadas, Usando calor residual de procesos industriales” Departamento de Ingeniería Mecánica (FIMEE) Universidad de Guanajato, Salamanca, México, 2006 (analizan la destilación al vacío y la destilación con bomba de calor.
- [6] Castro Ruz, Fidel “Discurso pronunciado en la legislatura de la Asamblea Nacional del Poder Popular, La Habana Cuba, 2005.
- [7] CNE “Análisis de los consumos eléctricos y de agua de los destiladores” Centro Nacional de Electromedicina La Habana, 2007.
- [8] Delgado, Teresa; Flores, Susana; Trejo Luis M.” *Calor Latente. Propuesta de Enseñanza del concepto.*”, Facultad de química de la Universidad de México, D. F. 2002.
- [9] EL AGUA Y SUS PECULIARES PROPIEDADES, todo ciencia. Com. (2001). <http://www.todo-ciencia.com/biologia/indice.php>[5]
- [10] “Energy Indicator For Sustainable Development, Guidelines and Methodologies”, International Atomic Energy agency Viena, 2005
- [11] Faires, V. M. “Termodinámica”. La Habana: Edición Revolucionaria, 1986.
- [12] Follaris J., Odicino L., Perello D. “Destilador Multiefecto compacto alimentado con energía solar o con energía solar y Gas” Laboratorio de Energía Solar, Universidad Nacional de San Luis, San Luis, Argentina 2005 (construcción de un destilador multi efecto
- [13] Fuentes Ricardo R., Roth Pedro “Teoría de la Destilación Solar en Vacío” Facultad de Ingeniería, Universidad de Tarapaca Chile 1997 (explica un modelo matemático para la destilación solar al vacío logrando altos rendimientos, aplica ecuaciones de conservación de energía)

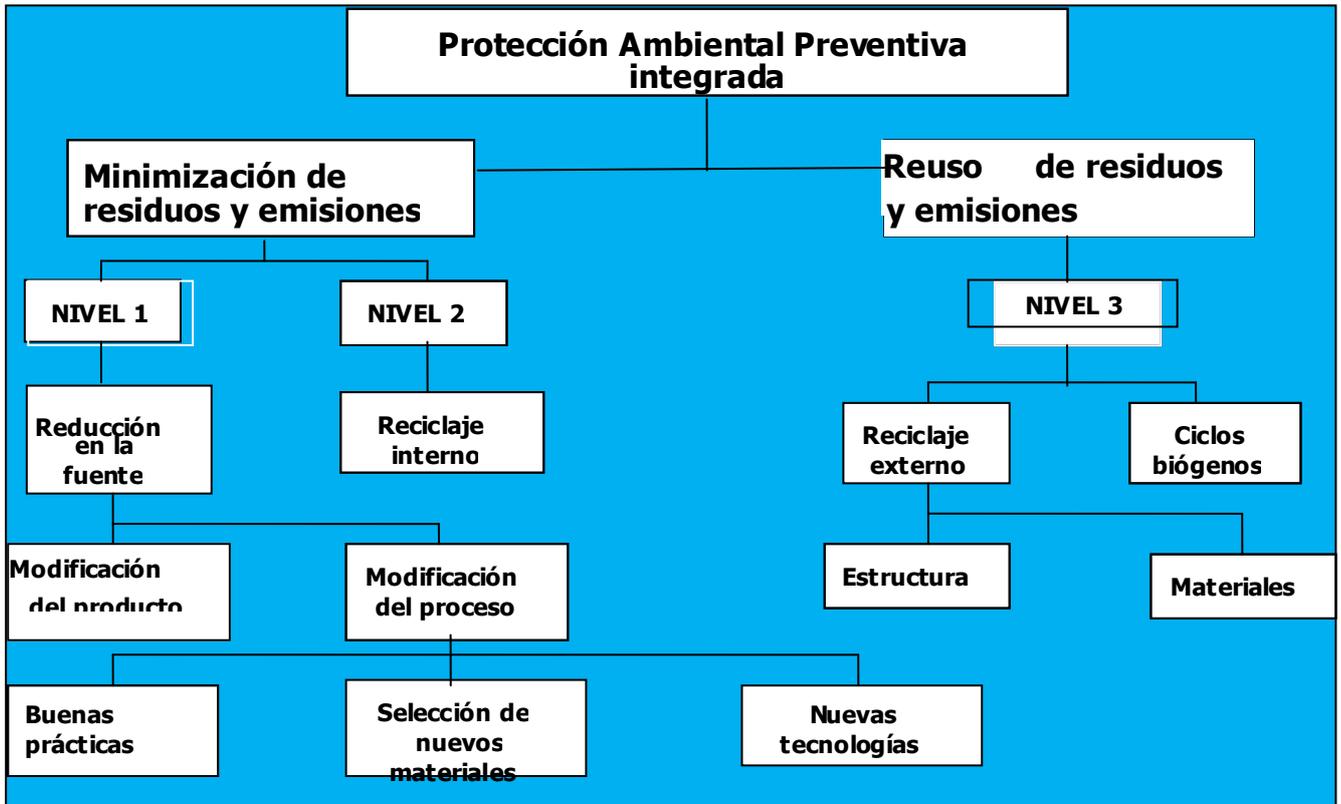
- [14] Hermosillo Villalobos J.J."Energía Solar" Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales División de Ingeniería (DPTIDI), Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Jalisco México 1995 (habla del destilador de caseta, de escalera, con evaporador textil, multiplí efecto
- [15] "HISTORIA DE LA DESTILACIÓN", LENNTECH
, <http://www.alambiques.com>
- [16] "Historia desinfección del agua", LENNTECH,
<http://www.lenntech.com/espanol/Desinfeccion-del-agua/Historia-desinfeccion-agua.htm>
- [17] Holman, J. P. Thermodynamics. Lugar: Gran Bretaña McGraw-Hill Book Company, 1988. Total págs.329
- [18] Huys J. Esterilización de productos sanitarios por vapor. España: Editorial Heart Consultancy, 1999. Total págs. 293
- [19] "Informe de trabajo realizado en el periodo 2005-2006" Asociación Cubana de Ingeniería sanitaria, ACIS, La Habana, Cuba 2006
- [20] Krasnoschiokov, E. A. "Problemas de termo transferencia". Moscú: Editorial Mir, 1975. Total págs. 327
- [21] Lapidó Rodríguez, M. y colectivo de autores "Termodinámica Avanzada", CEEMA, Universidad de Cienfuegos, Cuba, 2006
- [22] López Bastida Eduardo, Francisco Martín Wilfredo " La gestión del agua y su vinculación con el ahorro de energía".
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar07/HTML/articulo03.htm>
- [23] López Forero D. "Propuesta de un Sistema de Gestión Energética bajo la concepción de la ISO 9000 para la Industria Colombiana" Universidad de Cienfuegos, Cuba, 2001
- [24] "Manual de procedimiento para realizar la prueba de necesidad de una empresa" CEEMA, Universidad de Cienfuegos Cuba, 2002.
- [25] Mhengzi, ws2-226-77 manual de servicio del destilador.
- [26] Mhengzi, HS Z11-5 manual de servicio del destilador.
- [27] Mhengzi, HS Z11-5 manual de usuario del destilador.
- [28] Material de Estudio elaborado por los Dptos. Ideológico y de Industria Básica del CC del PCC. Marzo 2006.

- [29] Medexpor, 784, manual de servicio del destilador.
- [30] Medexpor, 784, manual de usuario del destilador.
- [31] Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Cuba. Producción Más Limpia en las Políticas y Prácticas Vigentes en Cuba. 2003.
- [32] Molerio León L.F.”_El Agua: fuente de conflictos bélicos” Grupo de Aguas Terrestres, Instituto de Geofísica y Astronomía, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, (2003)
- [33] Oliva, L. “Explotación y materiales constructivos de generadores de vapor” [et al.]. La Habana; ISPJAM, 1988.
- [34] ONN, NC ISO 3696 “AGUA PARA USO EN ANÁLISIS DE LABORATORIO ESPECIFICACIÓN Y MÉTODO DE ENSAYO” Oficina Nacional de Normalización, La Habana, 2004.
- [35] Ponzini, DEA-40, manual de servicio del destilador
- [36] Quintero Fernández S., Hernández fuentes M., Expósito L. “Sistema de tratamiento de agua para Laboratorio (STAL), por medios físicos, Instituto de investigaciones Fundamentales en agricultura tropical, INIFAT, La Habana Cuba. 2006
- [37] Ramos González, J. C. “Formulas, Tablas y Figuras de Transferencia de Calor” Campus Tecnológico de la Universidad de Navarra, España, 2007.
- [38] Rodríguez Castellón S. “Evolución y cambio en el sector energético en Cuba en los años 90” Revista Momentos Económicos. Junio 2002.
- [39] Schmitz Abe K. E. “Modelación y simulación de una torre de destilación multicomponentes” Instituto Politécnico Nacional.
- [40] Sutjeska, DV-20, manual de servicio del destilador.
- [41] Sutjeska, DV-20, manual de usuario del destilador
- [42] “Tecnología de Gestión Total eficiente de la Energía” CEEMA Universidad de Cienfuegos, Cuba. 2005.
- [43] Téllez Sánchez, I y Albert Disotuar, O. (2007) “Estudio del comportamiento energético del proceso de destilación” Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”. 2007.http://www.medioambiente.cu/revistama/4_04.asp
- [44] Terry Berro Carmen C. “Enfoque actual de las iniciativas en producción más limpia y sus proyecciones en el ámbito nacional” Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Cuba. (2005), http://www.medioambiente.cu/revistama/9_01.asp

- [45] Terry Berro, Carmen C. "Producción mas limpia: estrategia necesaria" Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Cuba. (2001), http://www.medioambiente.cu/revistama/1_06.asp
- [46] Tortosa Ferrer Bárbara I. "Relación de la Producción Más Limpia con algunas herramientas de Gestión Tecnológica" Máster en Ingeniería en Saneamiento Ambiental, http://www.medioambiente.cu/revistama/10_01.asp
- [47] Valero A. y Arauzo I. "Consecuencias Exergeticas asociadas al efecto invernadero" Departamento de ingeniería Mecánica, Universidad de Zaragoza, España, 1992.
- [48] Valiente Banderas A. "Historia de la destilación" Departamento de ingeniería Química, Facultad de química, Universidad de México 1995 (Habla sobre la historia de la destilación)
- [49] Vázquez, L. Ciclo de conferencias sobre Energía y Medio Ambiente. Lugar; Cienfuegos C.I.E.S, 1998. Pag. 238.
- [50] Viego Felipe P. y Colectivo de autores, "Temas Especiales de sistemas eléctricos industriales" CEEMA, Universidad de Cienfuegos, Cuba, 2006.
- [51] Zeitz Ronal A. "Energy Efficiency Handbook" Council of Industrial Boiler Owners (CIBO), Burke Virginia.1995.

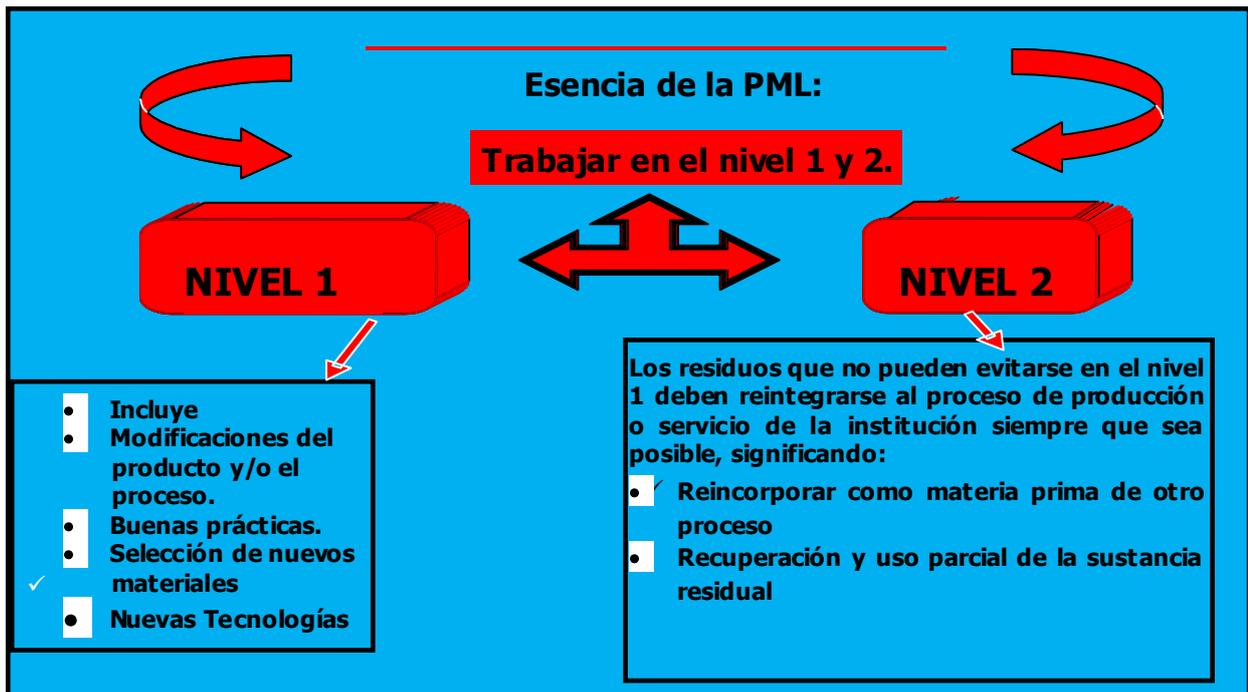
Anexo 1: Organigrama de la protección ambiental preventiva integrada

Fuente: Ciclo de conferencias de la asignatura de Producciones Más Limpias del diplomado de eficiencia energética



Anexo 2: Organigrama de la protección ambiental preventiva integrada

Fuente: Ciclo de conferencias de la asignatura de Producciones Más Limpias del diplomado de eficiencia energética



Anexo 3: Parámetros de la calidad del agua según ISO**Fuente:** Oficina Nacional de Normalización NC ISO 3696

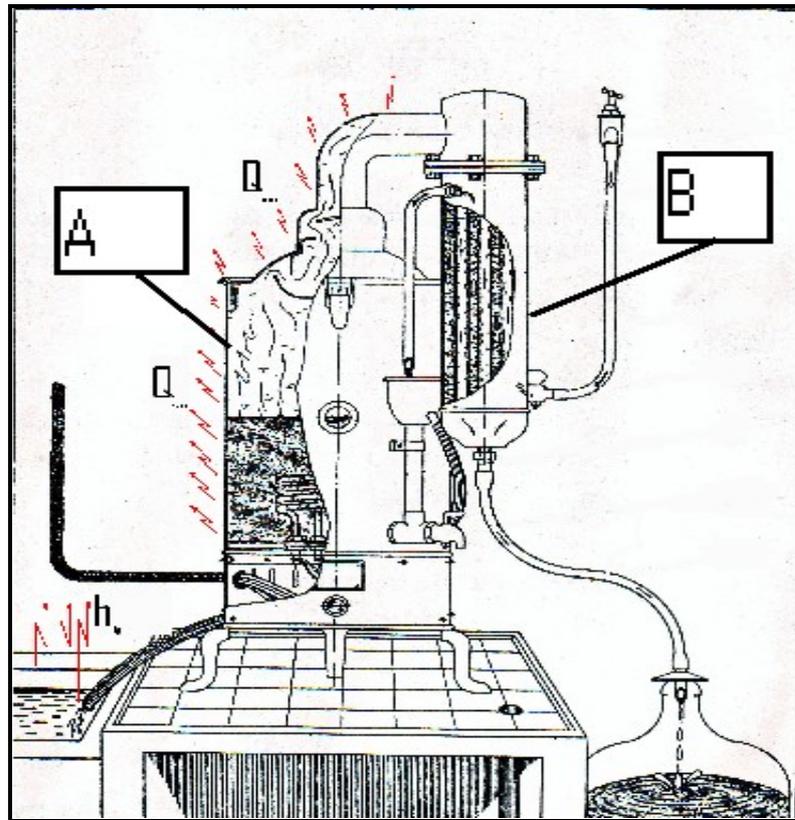
Parámetro	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Valor de pH a 25°C	N/A	N/A	5,0 a 7,5
Conductividad eléctrica μS/cm 25°C, máx.	0,1 *	1,0	5,0
Materia oxidable Contenido de oxígeno máx en mg/L.	N/A	0,08	0,4
Absorbencia a 254 nm y 1 cm de longitud de trayectoria óptica, unidades de absorbencia, máx.	0,001	0,01	No especificado
Residuos tras la evaporación al calentar a 110°C mg/kg, máx.	N/A	1	2
Contenido de sílice (SiO ₂) máx en mg/L.	0,01	0,02	No especificado

Anexo 4: Clasificación del agua de acuerdo al nivel bacteriano**Fuente:** Oficina Nacional de Normalización NC ISO 3696

Parámetros	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Número total de bacterias CFU/100 ml	1	10	1000
Endotoxinas máx. IU/ml	0,03	0,25	No especificado

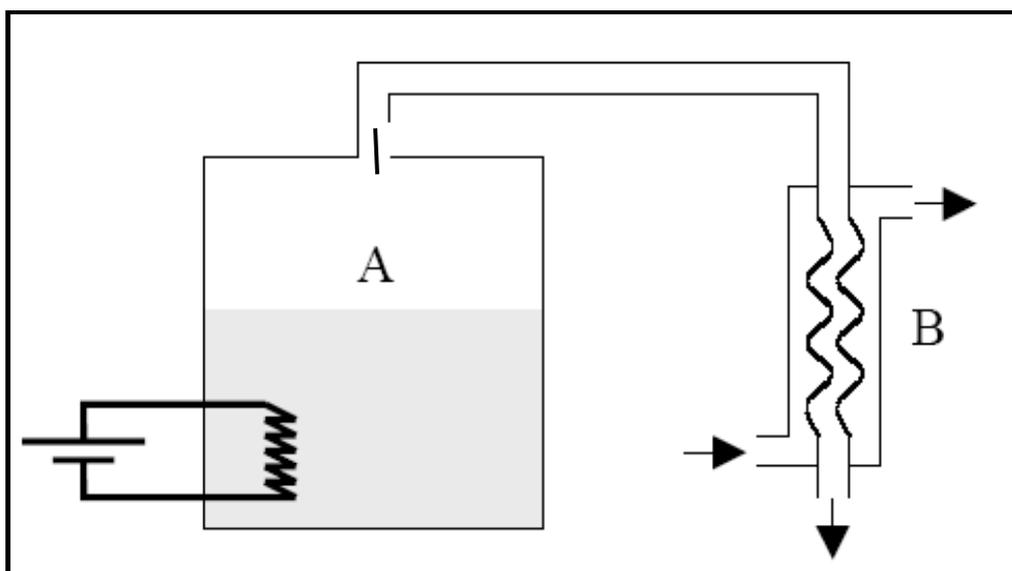
Anexo 5: Figura 2.1.- destilador convencional y sus componentes.

Fuente: Manual técnico destilador SMIC



Anexo 6: Figura 2.2.- destilador convencional y sus componentes.

Fuente: el autor



Anexo 7: tabla de la muestra seleccionada con los valores promedios medidos

Fuente: el autor

UBICACIÓN			DATOS DEL FABRICANTE					DATOS DE EXPLOTACIÓN									DATOS MEDIDOS						
No.	Unidad	Municipio	capacidad en litros	consumo eléctrico en Kw	voltaje de trabajo	cantidad de resistencias	Consumo de agua por litros destilados en litros	Horas de trabajo diaria	Días de trabajo semanales	resistencias conectadas en realidad	perímetro del destilador	altura (M)	temperatura de la pared del destilador (°C)	temperatura ambiente	temperatura agua de salida	temperatura agua de entrada	Voltaje aplicado al destilador	Corriente consumida	volumen destilado	Grado de incrustación	temperatura agua enfriamiento 1 min.	Consumo refrigerante	Consumo Potencia por consumo agua refrigerante
1	CLIN. MARIO POZO	HOLGUÍN	10	7.5	220	3	20	8	5.5	3	1.32	0.5	100	28	60	28	207	42.0	1.42	3	5.7	342	602
2	CUBASI	HOLGUÍN	10	7.5	220	3	20	8	5.5	3	1.33	0.5	100	28	60	28	221	36.5	1.58	3	5.8	348	613
3	FARMACIA MUNICIPAL	HOLGUÍN	10	7.5	220	3	20	8	6	3	1.32	0.5	100	28	60	28	218	36.3	1.34	3	6.1	366	645
4	HOSP. GIBARA	GIBARA	10	7.5	220	3	20	8	7	3	1.32	0.5	100	28	60	28	220	35.9	1.40	3	5.9	354	624
5	POL. ALEX URQUIOLA	HOLGUÍN	10	7.5	220	3	20	8	5.5	3	1.33	0.5	100	28	60	28	208	37.1	1.56	2	6	360	634
6	POL. PEDRO DÍAZ CUELLO	HOLGUÍN	10	7.5	220	3	20	10	5.5	3	1.32	0.5	100	28	60	28	218	33.0	1.64	1	6.2	372	655
7	POL. RENÉ ÁVILA	HOLGUÍN	10	7.5	220	3	20	10	5.5	3	1.32	0.5	100	28	60	28	214	35.9	1.36	2	2.7	162	285
8	POL. SAN ANDRÉS	HOLGUÍN	10	7.5	220	3	20	8	5.5	3	1.32	0.5	100	28	60	28	221	34.6	1.50	2	5.9	354	624
9	POLITÉCNICO 2	HOLGUÍN	10	7.5	220	3	20	10	5.5	3	1.32	0.5	100	28	60	28	219	34.8	1.46	2	6	360	634
10	HOSPITAL LENIN	HOLGUÍN	10	7.5	220	3	20	24	7	3	1.32	0.5	100	28	60	28	196	38.8	1.56	2	6.3	378	666
11	POLI. MACEO	CACOCUN	10	7.5	220	3	20	8	5.5	3	1.31	0.5	100	28	60	28	227	32.8	1.38	2	5.9	354	624
12	HOSP. PEDIÁTRICO	HOLGUÍN	5	4	220	2	20	12	7	2	1.19	0.5	100	28	60	28	223	14.8	1.5	1	1.2	72	127
13	POL. MANUEL FAJARDO	U. NORIS	5	4	220	2	20	10	5.5	1	1.19	0.5	100	28	60	28	211	12.8	1.3	1	1	60	106
14	POL. JUAN MANUEL PÁEZ	MOA	5	4	220	2	20	10	5.5	1	1.19	0.5	100	28	60	28	208	12.6	1.7	1	1.4	84	148

Continuación Anexo 7

15	Puesto medico la Caridad	BAGUANO	10	7.5	220	3	20	8	5.5	2	1.32	0.5	100	28	60	28	208	24.2	1.80	2	2.7	162	285
16	BANCO DE SANGRE	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	12	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	220	49.9	1.2	2	5.6	336	592
17	BASE AÉREA	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	8	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	199	55.0	1.2	2	5.9	354	624
18	CENTRO HIGIENE	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	12	5.5	4	1.33	0.6	100	28	60	28	213	51.2	1.0	3	5.8	348	613
19	CLIN. MASTRAPA A	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	10	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	210	51.1	1.2	2	5.9	354	624
20	CLIN. ESTOMATOLÓGICA	MOA	20	15	220	6	20	10	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	218	49.0	1.0	3	5.7	342	602
21	CLIN. ESTOMATOLÓGICA	BANES	20	15	220	6	20	8	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	201	52.8	1.8	2	5.5	330	581
22	CLIN. MAYARÍ	MAYARÍ	20	15	220	6	20	8	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	203	51.3	1.1	2	5.9	354	624
23	FARM. GUATEMALA	MAYARÍ	20	15	220	6	20	8	6	4	1.32	0.6	100	28	60	28	204	50.9	1.1	2	5.8	348	613
24	FARM. PRINCIPAL DE MAYARÍ	MAYARÍ	20	15	220	6	20	12	7	4	1.32	0.6	100	28	60	28	200	51.9	1.8	3	5.7	342	602
25	FARMACIA DISPENSARIAL	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	12	7	4	1.32	0.6	100	28	60	28	204	50.7	1.1	2	6.1	366	645
26	Farmacia Cristino Naranjo	CACOCUN	20	15	220	6	20	8	6	4	1.32	0.6	100	28	60	28	201	51.3	1.1	2	5.9	354	624
27	FARMACIA MEDICINA VERDE	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	12	7	4	1.32	0.6	100	28	60	28	222	46.5	1.8	3	6.0	360	634
28	HOSPITAL MARCANE	CUETO	20	15	220	6	20	10	7	4	1.32	0.6	100	28	60	28	225	45.8	1.1	2	5.9	354	624
29	FARMACIA PILOTO VELASCO	GIBARA	20	15	220	6	20	10	6	4	1.32	0.6	100	28	60	28	221	46.5	1.8	3	5.8	348	613
30	H. G. SAGUA	SAGUA	20	15	220	6	20	12	7	4	1.32	0.6	100	28	60	28	224	45.8	1.1	2	6.1	366	645
31	HOSP. BAGUANO	BAGUANO	20	15	220	6	20	10	7	4	1.32	0.6	100	28	60	28	208	49.3	1.1	2	6.0	360	634
32	HOSP. CALABAZA	SAGUA	20	15	220	6	20	8	7	4	1.32	0.6	100	28	60	28	219	46.8	1.9	3	6.1	366	645
33	HOSP. FRANK PAÍS	FRANK PAÍS	20	15	220	6	20	8	7	4	1.32	0.6	100	28	60	28	222	46.1	1.8	3	5.9	354	624
34	HOSP. GUILLERMO LUIS.	MOA	20	15	220	6	20	12	7	4	1.33	0.6	100	28	60	28	223	45.8	1.1	2	6.2	372	655
35	HOSP. MUÑOZ MARIO	RAFAEL FREYRE	20	15	220	6	20	12	7	4	1.32	0.6	100	28	60	28	217	47.1	1.1	2	6.4	384	676

Continuación Anexo 7

36	HOSP. MILITAR	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	10	7	4	1.32	0.6	100	28	60	28	223	45.8	1.7	3	5.9	354	624
37	HOSP. PEDIÁTRICO PEDRO ALBA SOTO	MOA	20	15	220	6	20	10	7	4	1.32	0.6	100	28	60	28	213	47.7	1.1	2	6.0	360	634
38	HOSP. PSIQUIÁTRICO	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	8	7	4	1.32	0.6	100	28	60	28	218	46.6	1.1	2	5.9	354	624
39	HOSP. VOCACIONAL	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	12	7	4	1.32	0.6	100	28	60	28	221	46.0	0.9	1	6.1	366	645
40	HOSP. RENE RAMOS LATOUR	ANTILLAS	20	15	220	6	20	10	7	4	1.32	0.6	100	28	60	28	217	46.8	1.7	3	6.1	366	645
41	HOSPITAL URBANO NORIS	U. NORIS	20	15	220	6	20	10	7	4	1.32	0.6	100	28	60	28	211	48.1	1.8	3	6.0	360	634
42	POL. ALCIDES PINO	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	12	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	218	46.5	1.1	2	6.2	372	655
43	POL. CESAR FORNET	BANES	20	15	220	6	20	10	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	216	47.0	1.9	3	6.2	372	655
44	POL. CRISTINO NARANJO	CACOCUN	20	15	220	6	20	8	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	201	50.4	1.1	2	5.9	354	624
45	POL. CUETO JUAN J ESTEVANEL	CUETO	20	15	220	6	20	10	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	212	47.8	1.8	3	6.3	378	666
46	POL. ERNESTO GUEVARA MIR	CALIXTO GARCÍA	20	15	220	6	20	8	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	215	47.1	1.8	3	5.9	354	624
47	POL. JOSÉ MARTÍ (Gibara)	GIBARA	20	15	220	6	20	10	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	217	46.6	1.1	2	6.0	360	634
48	POL. JULIO A. MELLA	BAGUANO	20	15	220	6	20	8	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	217	46.5	1.1	2	6.2	372	655
49	POL. MANUEL FAJARDO	U. NORIS	20	15	220	6	20	10	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	219	46.0	1.1	2	6.0	360	634
50	POL. MARIO GUTIÉRREZ	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	10	5.5	4	1.31	0.6	100	28	60	28	210	48.0	1.2	1	6.3	378	666
51	POL. MÁXIMO GÓMEZ	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	10	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	220	45.5	1.1	2	6.4	384	676
52	POL. MININT	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	8	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	217	45.9	1.0	2	6.1	366	645
53	POL. PEDRO DEL TORO	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	10	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	211	47.1	1.9	2	6.3	378	666
54	POLICLÍNICO. RUBÉN BATISTA	CACOCUN	20	15	220	6	20	10	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	220	45.1	1.9	2	6.0	360	634
55	POL. TAMARA BUNQUE	BAGUANO	20	15	220	6	20	8	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	226	43.6	1.0	2	5.9	354	624

Continuación Anexo 7

56	PRISIÓN PROVINCIAL	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	8	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	218	45.1	2.0	2	6.0	360	634
57	SANATORIO SIDA	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	8	5.5	4	1.32	0.6	100	28	60	28	221	44.3	1.0	2	5.8	348	613
58	HOSPITAL LENIN	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	24	7	4	1.32	0.6	100	28	60	28	219	37.9	1.9	1	6.3	378	666
59	CLIN. ESTOMATOLÓGICA	BANES	20	15	220	6	20	8	5.5	3	1.32	0.6	100	28	60	28	245	31.7	1.7	1	5.9	354	624
60	HOSPITAL MATERNO INFANTIL	BANES	20	15	220	6	20	12	7	3	1.32	0.6	100	28	60	28	246	31.5	1.8	1	6.1	366	645
61	HOSPITAL CARLOS FONT	BANES	20	15	220	6	20	12	7	3	1.31	0.6	100	28	60	28	245	31.5	1.5	2	6.1	366	645
62	POLI. DARÍO CALZADILLA	BANES	20	15	220	6	20	8	5.5	3	1.32	0.6	100	28	60	28	219	35.1	1.4	2	5.9	354	624
63	POLI. FRANK PAÍS	FRANK PAÍS	20	15	220	6	20	10	5.5	3	1.32	0.6	100	28	60	28	225	33.5	1.5	2	6.1	366	645
64	POL. FRAY BENITO	RAFAEL FREYRE	20	15	220	6	20	8	5.5	3	1.32	0.6	100	28	60	28	221	33.7	1.3	2	5.9	354	624
65	HOSPITAL BUENAVENTURA	CALIXTO GARCÍA	20	15	220	6	20	10	7	3	1.32	0.6	100	28	60	28	215	34.1	1.3	2	6.1	366	645
66	FACULTAD CIENCIAS MEDICAS	HOLGUÍN	20	15	220	6	20	12	6	3	1.32	0.6	100	28	60	28	221	33.1	1.2	2	6.2	372	655
67	CENTRO HIGIENE	HOLGUÍN	25	18	220	9	18	12	5.5	4	1.44	0.6	100	28	60	28	212	48.1	1.5	3	7.7	462	814
68	CLIN. MANUEL ANGULO	HOLGUÍN	25	18	220	9	18	12	5.5	4	1.44	0.6	100	28	60	28	218	46.7	1.5	3	8	480	846
69	HOSP. MÁRTIRES DE MAYARÍ	MAYARÍ	25	18	220	9	18	10	7	4	1.44	0.6	100	28	60	28	220	42.9	1.9	2	7.9	474	835
70	HOSP. PEDIÁTRICO	HOLGUÍN	25	18	220	9	18	12	7	4	1.44	0.6	100	28	60	28	215	38.5	1.6	2	8.1	486	856
71	HOSPITAL LENIN	HOLGUÍN	25	18	220	9	18	24	7	3	1.44	0.6	100	28	60	28	218	36.0	1.6	1	8.1	486	856
72	POL. JULIO GRAVE DE PERALTA	HOLGUÍN	25	18	220	9	18	10	5.5	3	1.44	0.6	100	28	60	28	219	34.2	1.5	2	7.4	444	782

Anexo 8: Tabla de propiedades física del agua

Fuente: Krasnoschiokov, E.A. Problemas de termo-trasferencia

Propiedades físicas del agua en la línea de saturación [L.2 y 13]											
$t, ^\circ\text{C}$	$p \cdot 10^{-1}, \text{Pa}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$r, \text{kJ/kg}$	$c_p, \text{kJ/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$	$\lambda \cdot 10^3, \text{W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$	$\alpha \cdot 10^4, \text{m}^2/\text{s}$	$\mu \cdot 10^4, \text{Pa}\cdot\text{s}$	$\nu \cdot 10^4, \text{m}^2/\text{s}$	$\beta \cdot 10^4, \text{K}^{-1}$	$\sigma \cdot 10^4, \text{N/m}$	Pr
0	1,013	999,9	0	4,212	55,1	13,1	1788	1,789	-0,63	756,4	13,67
10	1,013	999,7	42,04	4,191	57,4	13,7	1306	1,306	+0,70	741,6	9,52
20	1,013	998,2	83,91	4,183	59,9	14,3	1004	1,006	1,82	726,9	7,02
30	1,013	995,7	125,7	4,174	61,8	14,9	801,5	0,805	3,21	712,2	5,42
40	1,013	992,2	167,5	4,174	63,5	15,3	653,3	0,659	3,87	696,5	4,31
50	1,013	988,1	209,3	4,174	64,8	15,7	549,4	0,556	4,49	676,9	3,54
60	1,013	983,2	251,1	4,179	65,9	16,0	469,9	0,478	5,11	662,2	3,98
70	1,013	977,8	293	4,187	66,8	16,3	406,1	0,415	5,70	643,5	2,55
80	1,013	971,8	335,0	4,195	67,4	16,6	355,1	0,365	6,32	625,9	2,21
90	1,013	965,3	377,0	4,208	68,0	16,8	314,9	0,326	6,95	607,2	1,95
100	1,013	958,4	419,1	4,220	68,3	16,9	282,5	0,295	7,52	588,6	1,75
110	1,43	951,0	461,4	4,233	68,5	17,0	259,0	0,272	8,08	569,0	1,60
120	1,98	943,1	503,7	4,250	68,6	17,1	237,4	0,252	8,64	548,4	1,47
130	2,70	934,8	546,4	4,266	68,6	17,2	217,8	0,233	9,19	528,8	1,36
140	3,61	926,1	589,1	4,287	68,5	17,2	201,1	0,217	9,72	507,2	1,26
150	4,76	917,0	632,2	4,313	68,4	17,3	186,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	6,18	907,4	675,4	4,346	68,3	17,3	173,6	0,191	10,7	466,0	1,10
170	7,92	897,3	719,3	4,380	67,9	17,3	162,8	0,181	11,3	443,4	1,05
180	10,03	886,9	763,3	4,417	67,4	17,2	153,0	0,173	11,9	422,8	1,00
190	12,55	876,0	807,8	4,459	67,0	17,1	144,2	0,165	12,6	400,2	0,96
200	15,55	863,0	852,5	4,505	66,3	17,0	136,4	0,158	13,3	376,7	0,93
210	19,08	852,8	897,7	4,555	65,5	16,9	130,5	0,153	14,1	354,1	0,91
220	23,20	840,3	943,7	4,614	64,5	16,6	124,6	0,148	14,8	331,6	0,89
230	27,98	827,3	990,2	4,681	63,7	16,4	119,7	0,145	15,9	310,0	0,88
240	33,48	813,6	1037,5	4,756	62,8	16,2	114,8	0,141	16,8	285,5	0,87
250	39,78	799,0	1085,7	4,844	61,8	15,9	109,9	0,137	18,1	261,9	0,86
260	46,94	784,0	1135,1	4,949	60,5	15,6	105,9	0,135	19,7	237,4	0,87
270	55,05	767,9	1185,3	5,070	59,0	15,1	102,0	0,133	21,6	214,8	0,88
280	64,19	750,7	1236,8	5,230	57,4	14,6	98,1	0,131	23,7	191,3	0,90
290	74,45	732,3	1299,0	5,485	55,8	13,9	94,2	0,129	26,2	168,7	0,93
300	85,92	712,5	1344,9	5,736	54,0	13,2	91,2	0,128	29,2	144,2	0,97
310	98,70	691,1	1402,2	6,071	52,3	12,5	88,3	0,128	32,9	120,7	1,03
320	112,90	667,1	1462,1	6,574	50,6	11,8	85,3	0,128	38,2	98,10	1,11
330	128,65	640,2	1526,2	7,244	48,4	10,4	81,4	0,127	43,3	76,71	1,22
340	146,08	610,1	1594,8	8,165	45,7	9,17	77,5	0,127	53,4	56,70	1,39
350	165,37	574,4	1671,4	9,504	43,0	7,88	72,6	0,126	66,8	38,16	1,60
360	186,74	528,0	1761,5	13,984	39,5	5,36	66,7	0,126	109	20,21	2,35

Anexo 9: Tabla de las constante C y N para régimen de movimiento y contorne del intercambio de calor

Fuente: Krasnoschiokov, E.A. Problemas de termo-trasferencia

$(GrPr)_f$	C	n	Condiciones del movimiento
$1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^9$	0,75	0,25	A lo largo de la pared vertical
$\geq 6 \cdot 10^{10}$	0,15	1/3	
$1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^9$	0,50	0,25	En el tubo horizontal

Anexo 10: Tabla de las propiedades físicas del aire en las condiciones de transferencias

Fuente: Krasnoschiokov, E.A. Problemas de termo-trasferencia

Tabla 9

**Propiedades físicas del aire seco
($B = 760 \text{ mm Hg} \approx 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$) [L.13]**

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{ kg/m}^3$	$c_p, \text{ kJ/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{ m}^2/\text{s}$	$\mu \cdot 10^6, \text{ Pa}\cdot\text{s}$	$\nu \cdot 10^6, \text{ m}^2/\text{s}$	Pr
-50	1,584	1,013	2,04	12,7	14,6	9,23	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	13,8	15,2	10,04	0,728
-30	1,453	1,013	2,20	14,9	15,7	10,80	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	16,2	12,79	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	17,4	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,0	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	22,9	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	24,3	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	26,2	20,1	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	28,6	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	30,2	21,1	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	31,9	21,5	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	33,6	21,9	23,13	0,688
120	0,898	1,009	3,34	36,8	22,8	25,45	0,686
140	0,854	1,013	3,49	40,3	23,7	27,80	0,684
160	0,815	1,017	3,64	43,9	24,5	30,09	0,682
180	0,779	1,022	3,78	47,5	25,3	32,49	0,681

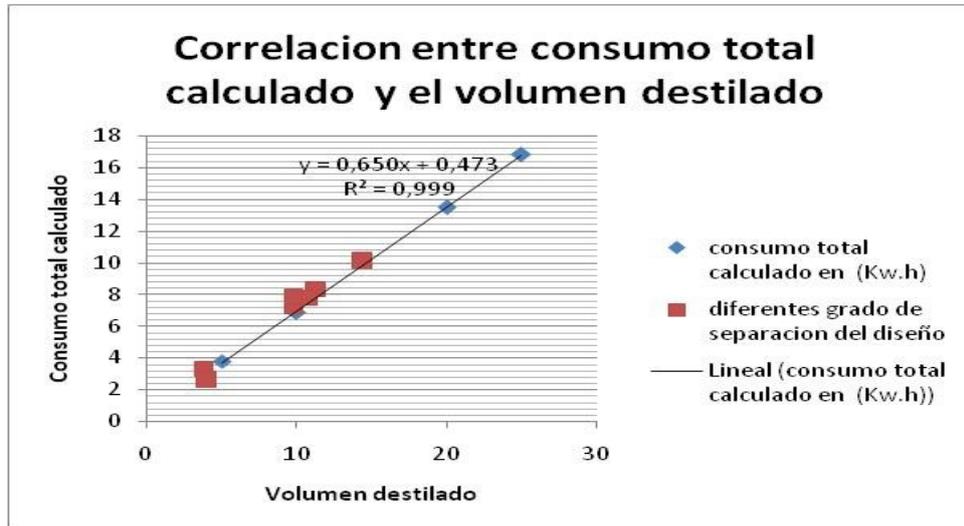
Anexo 12: Tabla de análisis de los destiladores alejados del criterio de diseño.

Fuente: El autor

Capacidad de destilación (L/h)	5	10	20	25
Consumo directo real (kW/h)	2.87	7.2	8.8	7.8
producción real de destilado en L	3.56	9.84	11.52	9.64
Consumo de agua refrigerante en L	72	372	368.4	486
Consumo energético indirecto por agua en W/h	127	655	649	856
Consumo energético total kW/h	2.997	7.855	9.449	8.656
Índice de consumo energético kW/L	0.84	0.8	0.82	0.9
Índice de consumo energético kW/L	20.22	37.8	31.98	50.41

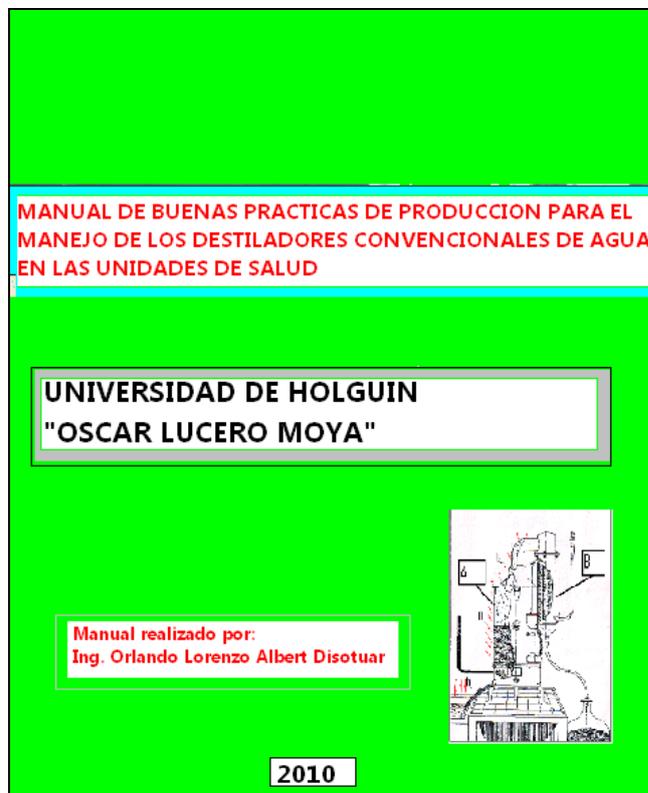
Anexo 13: Tabla de las propiedades físicas del aire en las condiciones de transferencias

Fuente: El autor



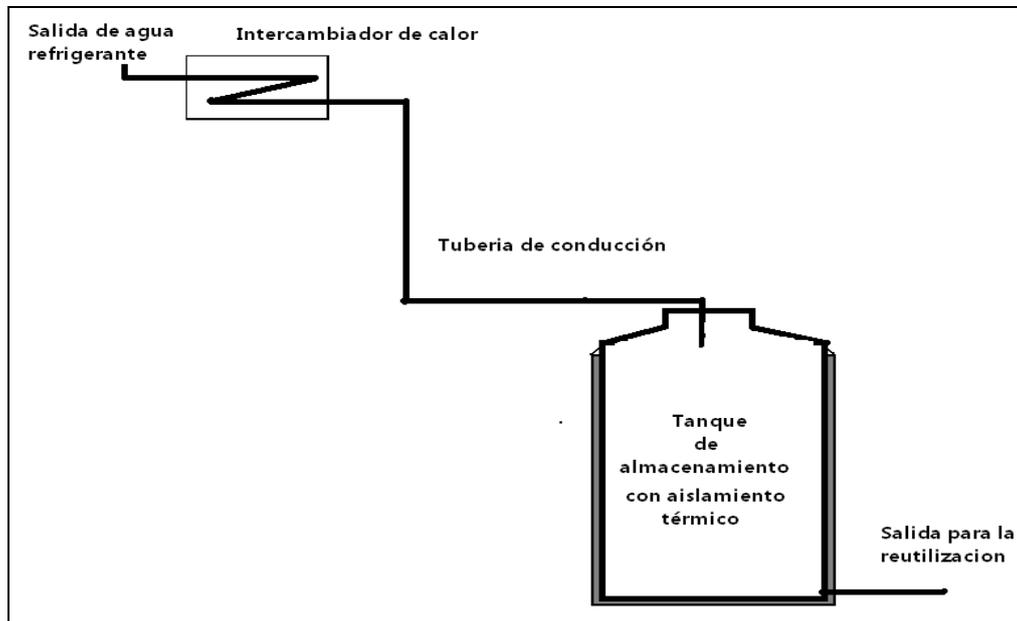
Anexo 14: Manual de buenas practicas de producción para los destiladores

Fuente: El autor



Anexo 14: sistema recolector para reaprovechamiento de de los residuos.

Fuente: El autor



Anexo 16 Tabla de cálculo para la evaluación económica de la sustitución de tecnología.

Fuente: Ciclo de conferencias Economía Energética, Maestría de Diplomado Eficiencia Energética

TABLA DE CALCULO DE EVALUACION ECONOMICA											
Datos iniciales											
Ingresos (I), \$		1468404.96	1468404.96	1468404.96	1468404.96	1468404.96	1468404.96	1468404.96	1468404.96	1468404.96	1468404.96
Gastos (G), \$		25357.2	25357.2	25357.2	25357.2	25357.2	25357.2	25357.2	25357.2	25357.2	25357.2
Costo inversión (Ko)		-1635000									
Tasa de descuento (r), %		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Tasa de inflación (f), %		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Margen de riego, %		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Tasa de impuesto (t), %		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vida útil estimada, años		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Resultados											
Año		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Depreciación (Dep), \$		163500	163500	163500	163500	163500	163500	163500	163500	163500	163500
Flujo de caja (Fc), \$		1443047.76	1443047.76	1443047.76	1443047.76	1443047.76	1443047.76	1443047.76	1443047.76	1443047.76	1443047.76
Tasa de descuento real (R)		0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Tasa de descuento real con margen (D)		0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Factor de descuento (Fdesc.)		1.00	0.93	0.86	0.80	0.74	0.69	0.64	0.60	0.55	0.51
Flujo de caja descontado (Fd), \$		1443047.76	1340214.481	1244709.222	1156009.78	1073631.164	997122.9457	926066.7927	860074.1847	798784.2875	741861.9804
Flujo descontado acumulado (Fda), VPN, \$		-\$1,635,000.00	-\$191,952.24	\$1,148,262.24	\$2,392,971.46	\$3,548,981.24	\$4,622,612.41	\$5,619,735.35	\$6,545,802.14	\$7,405,876.33	\$8,204,660.62
											\$8,946,522.60

Anexo 17: Grafico para la evaluación de PRI en la sustitución de tecnología

Fuente: El autor

