



**UNIVERSIDAD DE MATANZAS  
"CAMILO CIENFUEGOS"  
FACULTAD DE INGENIERIAS QUÍMICA – MECANICA.**

# **MONOGRAFÍA**

**SOBRE EL ESTADO DEL ARTE EN SISTEMAS CENTRALIZADOS  
DE AIRE ACONDICIONADO CON AGUA FRÍA.**

MSc. Juan Landa García

Ing. Yoangel Delgado Castro  
Centro de Estudio de Combustión y Energía.

**Noviembre, 2007**

**Título: Sobre el estado del arte en sistemas centralizados de aire acondicionado con agua fría.**

Autores: MSc. Juan Landa García

Ing. Yoangel Delgado Castro

Dirección electrónica: [juan.landa@umcc.cu](mailto:juan.landa@umcc.cu)

\*\* Centro de Estudios de Combustión y Energía

Facultad de Ingenierías Química y Mecánica

Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”

**Resumen.**

Se parte de los resultados del estudio de la viabilidad técnica y económica de la utilización de sistemas de aire acondicionado con agua a bajas temperaturas en instalaciones de climatización que están cerca del mar y de lagos y de la experiencia alcanzada en su explotación, se precisa que la producción de aire acondicionado centralizado utilizando directamente agua fría de mar es una forma técnicamente factible, segura y sencilla de empleo de este tipo de energía alternativa, con un impacto ambiental y económico significativo. La instalación de sistemas de grandes dimensiones en países de clima templado es económicamente atractiva hoy y se ha implementado en la práctica siendo los ahorros de energía eléctrica alcanzados con su empleo de más del 80 % de la energía eléctrica consumida en las instalaciones con sistemas convencionales de aire acondicionado centralizados existentes y de uso generalizado en el mundo. Se establece en forma tentativa el efecto económico y ambiental que se alcanzaría al sustituir el sistema de climatización actual en una cadena hotelera con un sistema de climatización con agua de mar a partir de la reducción del consumo de energía eléctrica.

**Palabras claves:** intercambiadores de placas, aire acondicionado, enfriamiento, agua de mar, agua profunda, climatización centralizada, análisis de costos, sistemas de climatización centralizada con agua de mar, hoteles.

## **Abstract.**

It leaves of the results that of the study of the technical and economic viability of the use of an air conditioning system in Facilities that are near the sea and of lakes with cold water to low temperatures. The production of centralized air conditioning using seawater directly is a technically feasible, secure and simple form of employment of the alternative energy that has an important environmental and economic impact. The installation of systems of big dimensions in countries of template climate it is economically attractive today and it has been implemented in the practice being the electric power savings reached with their employment of 80% or more used energy if they are compared with the centralized conventional systems of air conditioning of extensive use in the world. It's obtained in preliminary form the economic and environmental effect by the reduction of energy consumption in one group of hotels by the substitution of the existent system by one system with sea water.

**Keywords:** Seawater, air conditioning, water systems air conditioning, refrigeration, water deep, costs analysis and hotels.

## **1. Introducción**

En Cuba la industria turística alcanza niveles de crecimiento sostenido, siendo en la actualidad el sector de mayor crecimiento económico. Sus instalaciones requieren un suministro muy alto de energía, siendo la electricidad el portador energético fundamental lo cual ha sido establecido en instalaciones hoteleras de todo tipo de estructura tecnológica y categoría hotelera debiendo señalarse algunos trabajos como los de Cabrera (2003), Campos et al. (1995), Campos (1995), Calderón (1996), González (1996), Grupo de energética del MICONS (1998) de aplicación general, y en el sector turístico los de Cardero (2004), Pelladito (2003), Pelladito, Landa y Roque (2004), Fernández y Landa (2005), Sánchez y colaboradores (2004). Al respecto Van Ryzin y Leraand (2002) precisan que en un edificio de grandes dimensiones como los hoteles e instalaciones militares en climas tropicales y subtropicales, el aire acondicionado representa la demanda energética principal. Un solo cuarto del hotel, por ejemplo,

requiere a partir de 0.75 a 1.0 toneladas de refrigeración para acondicionamiento del aire. La demanda eléctrica requerida es típicamente 0.9 kW por tonelada de refrigeración. Un complejo hotelero con 1000 cuartos podría tener una demanda eléctrica para acondicionamiento del aire de 1 MW o más. En Cuba se ha encontrado que en estas instalaciones la carga de climatización representa entre el 50 y el 62 % del consumo total de electricidad por lo cual se realizan diferentes estudios para lograr su reducción (Cardero (2004), Pelladito (2003), Pelladito, Landa y Roque (2004), Fernández y Landa (2005), Sánchez Ávila et al (2007)), pero aunque se han logrado ahorros, no se ha llegado a reducir en forma significativa el consumo, de forma que se de un vuelco a la situación existente de alto consumo. Debe destacarse que Cardero et al y Sánchez et al han realizado múltiples trabajos durante más de 10 años y aquí solo se reconoce una parte de sus resultados.

A lo anterior se suma el hecho de que estas instalaciones usan como fuente fría aire a temperatura ambiente, lo cual trae dos efectos igualmente perjudiciales, primero; un alto consumo de energía de los compresores por trabajar estos con altos valores de presión y temperatura en su descarga para lograr evacuar en el condensador el calor extraído de los locales climatizados, lo cual se agrava por el incorrecto proyecto de las instalaciones que no facilitan el movimiento del aire caliente el que recircula a la succión de los ventiladores (Cardero, 2004), y segundo: por la poca duración de los condensadores, debido el ambiente salino de nuestras costas, los cuales son afectados por la corrosión de sus superficies de intercambio de calor y deben ser sustituidos en un breve período de tiempo, constituyendo adicionalmente la capa de productos de la corrosión formada una resistencia térmica adicional, la que da lugar a que para evacuar el calor extraído de los locales climatizados sea necesario que el compresor eleve aún más la temperatura y con esto se incrementa el consumo de potencia. Por lo que puede entenderse con facilidad que las instalaciones existentes tienen un diseño que favorece un alto consumo de energía eléctrica en las condiciones del área costera de Cuba.

¿Se usará en Cuba en forma inadecuada los sistemas convencionales existentes? Según (Anónimo, 2004) “Usando el sistema de aire acondicionado

centralizado convencional un flujo constante de agua fría circula a través del edificio para permitir disipar el calor que en este se libera. Mientras que esta agua enfriada se mueve a través del edificio y absorbe calor, su temperatura se incrementa de aproximadamente 7 a 8 °C a un valor aproximadamente 5°C mayor a su salida, entonces esta agua calentada entra en la enfriadora a la temperatura de 12 a 13 °C y sale de esta con una temperatura de 7 a 8°C. El flujo de agua a través del edificio varía con la demanda y su temperatura a la salida de la enfriadora es constante.” En Cuba se ha establecido para esta agua una variación de temperatura de 7 a 12 °C, por lo cual no se aprecia ningún problema de concepción general a primera vista, y la operación de los sistemas se ajusta a esta normativa.

**Entonces ¿qué vías o métodos de ahorro de energía existentes no se han explotado?**

Según (Anónimo, 2006) “Los innovadores de Sistemas de Aire Acondicionado con Agua de Mar utilizan agua fría de las profundidades del mar, con temperaturas de 6 a 10 °C, como fluido de refrigeración para sistemas de aire acondicionado en edificios ubicados en las proximidades de la costa”, sin embargo otros autores refieren a sistemas que utilizan aguas de lago a 4 °C en Toronto, Canadá y la Universidad de Cornell, New Cork, EEUU. El agua de mar fría en estos sistemas pasa a través de un intercambiador de calor en el que enfría el agua templada procedente del edificio. Después de su paso a través del intercambiador, el agua de mar se devuelve al océano mediante una tubería de desagüe.

Se afirma que “El Sistema de Aire Acondicionado con Agua de Mar no es técnicamente complejo. Esta tecnología está siendo aplicada de una manera innovadora. Todos los componentes necesarios existen y han funcionado bajo las condiciones requeridas en el proceso citado.” De ser así, ¿por qué no se ha extendido su uso?

Cabe preguntarse entonces ¿Son estos sistemas eficientes tanto energética como económicamente? ¿Provoca su uso afectaciones ambientales que limiten su

introducción en la práctica? ¿Pueden construirse sin grandes tropiezos tecnológicos? ¿Se dispone del equipamiento requerido y este es duradero? ¿Qué materiales se utilizan en su construcción? ¿Qué condiciones se requieren para su empleo en países de clima tropical y de clima templado? ¿Puede utilizarse agua a temperaturas superiores a 10 °C sin afectar la estructura de los enfriadores de aire de las habitaciones?

### **1.1 Método para obtener aire acondicionado a partir del agua fría del mar.**

Según Van Ryzin y Leraand (2002), lo cual es reafirmado por diferentes autores y aparece en las páginas web de diferentes entidades comerciales y científicas (ver bibliografía referenciada), los componentes principales de un sistema básico de aire acondicionado con agua de mar son el sistema de suministro de agua de mar fría, el intercambiador de calor y el sistema de distribución del agua fresca dulce. Estos componentes básicos se pueden optimizar para cada localización, clima y edificio en específico.

Debido a su economía, Van Ryzin y Leraand (2002) plantean que “el sistema de aire acondicionado con agua de mar es el más apropiado para proveer edificios múltiples u hoteles en un área costera. Para mantener a clientes múltiples, es necesario sea instalado un sistema de distribución de agua para proporcionar agua dulce fresca a todos los edificios. Tal sistema se puede instalar fácilmente con un aumento mínimo en la temperatura del agua dulce fresca, por ejemplo, con un aislamiento agregado a las tuberías de plástico utilizadas, el agua fría se puede distribuir a muchos kilómetros de distancia con un aumento insignificante de su temperatura. Los componentes del aire acondicionado dentro de los edificios son convencionales y no cambiarían para un sistema de climatización con agua de mar. Estos componentes no se exponen al agua de mar. Como resultado, a los edificios existentes se les pueden introducir el sistema de aire acondicionado con agua de mar fría.” Y añaden que “Los ahorros de energía, observados por el sistema de aire acondicionado utilizando agua de mar pueden ser significativos. Un sistema de aire acondicionado convencional utiliza 800 a 900 kW/1000 toneladas de refrigeración. Con el sistema de agua de mar, esta demanda eléctrica utilizada para la

refrigeración (enfriamiento) del agua dulce fresca es substituida por la energía eléctrica requerida para el bombeo del agua de mar. Dependiendo de la longitud y el tamaño de la tubería y el tamaño del sistema de distribución de agua dulce fresca, el consumo de potencia eléctrica para el bombeo varía cerca del rango de 75 a 150 kW/1000 toneladas de refrigeración. Esto significa un ahorro superior al 85 % de la energía eléctrica consumida por la enfriadora”. Debe destacarse que estas precisiones son para el caso de que se disponga de agua a una temperatura tal que permita mantener el rango de temperaturas del agua fresca o helada de los sistemas de climatización convencionales.

La viabilidad de usar el agua fría, de mar o lago, para refrigerar directamente edificios se ha estudiado y se ha analizado por muchos años. En ciertas localizaciones, se han instalado sistemas que han operado adecuadamente (Cornell, Keahole Point, Toronto, etc.).

En las figura 1.1 y 1.2 se muestran los lazos de agua dulce fresca (conocida en los sistemas de refrigeración en Cuba como agua helada) y del agua de fría para un sistema de aire acondicionado centralizado con agua de mar, adaptado del trabajo de Van Ryzin y Leraand.

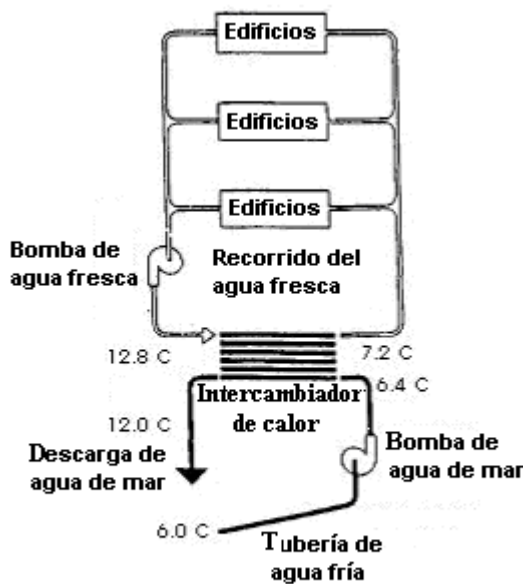
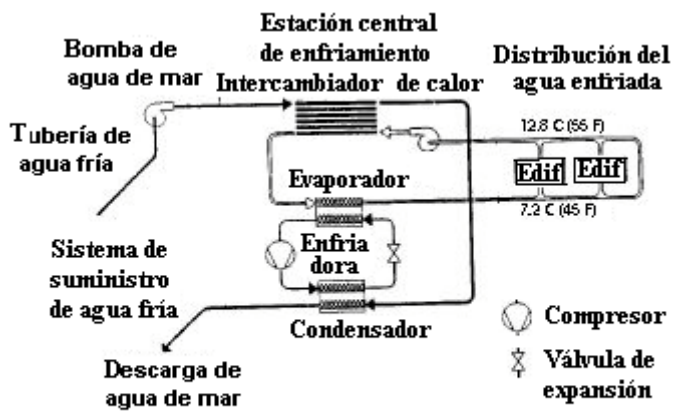


Fig. 1.1. Sistema de climatización con agua de mar

En las Fig. 1.1 y 1.2 se observa que la temperatura a que regresa el agua fresca de las habitaciones es algo superior, en 0.8 °C, a la utilizada en los diseños de sistemas de climatización convencionales en Cuba.

En la Fig. 1.1 se observa que la temperatura del agua utilizada en el SCAM es de 6 °C, lo cual indica que se dispone de posibilidades de uso de estos sistemas en Cuba para profundidades no mayor de 1000 m, tanto en la costa sur como en la costa norte, ya que en estas las temperaturas pueden alcanzar valores inferiores a los 6 °C, lo que es peculiar de otras zonas del Caribe (Binger. 2003), siendo las mayores posibilidades en la costa norte donde las temperaturas son menores.



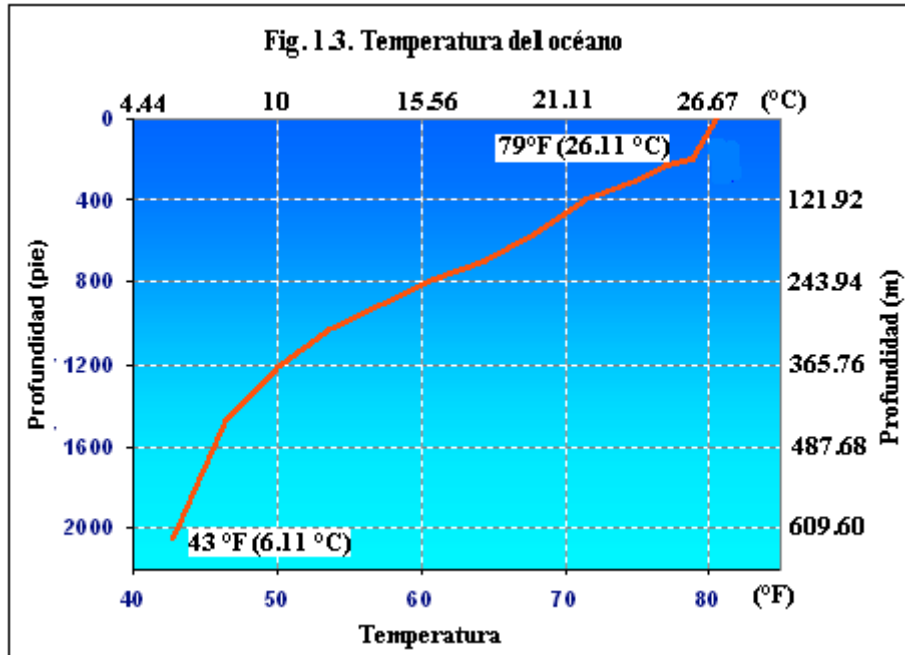
**Fig. 1.2. Sistema de climatización híbrido, convencional y con agua fría**

En la Fig. 1.2 se evidencia la necesidad de un consumo de energía eléctrica adicional al utilizado en los SCAM, el cual viene dado por el consumo del compresor, no obstante, debe destacarse que este compresor va a consumir una cantidad de energía eléctrica muy inferior al de los equipos instalados en Cuba ya que se dispondría de una fuente fría a mucha menor

temperatura, lo que permite la reducción de la presión y temperatura en la descarga del compresor manteniendo la capacidad de entrega del calor absorbido por el agua helada en los locales a climatizar, y, por ende, la entalpía del refrigerante y con esta el consumo de potencia requerido para el funcionamiento del compresor.

(Makai, 2007) reporta la Figura 1.3 donde se ilustra un perfil de temperatura en las zonas tropicales de los océanos más profundos del mundo, con condiciones excepcionales para la aplicación de este sistema y se afirma que “7 °C o menos se pueden encontrar a 700 m y 5°C o menos a 1000 m”. Van Ryzin y Leraand plantean que “Generalmente, agua a 6 °C puede ser encontrada entre 600 y 700 m de profundidad y agua tan fría como a 4 °C puede ser encontrada a 800 m.” Se reportan otros perfiles que difieren en alguna medida del anterior, por ejemplo, Binger (2003) reporta para el Caribe un perfil de temperaturas el que para la profundidad de 1000 m presenta una temperatura de 6 °C lo cual viene condicionado por las condiciones geográficas de este mar y las temperaturas de las corrientes marinas que llegan a él.





## 1.2 Aspectos ambientales

Aprovechando el frío del agua de mar se puede disminuir el consumo eléctrico para refrigeración en un 80 %, 90 % y aún una cifra mayor, en dependencia de las características geográficas de la zona donde se realizará la sustitución del sistema de climatización convencional por el de climatización con agua fría del mar o de lago y de la temperatura del agua profunda disponible. Esta reducción del consumo da lugar a una reducción proporcional de las emisiones de gases productos de la combustión en las termoeléctricas donde se generó esta cantidad de energía. Además se elimina totalmente el uso de freones y otros refrigerantes, los que al escapar a la atmósfera la contaminan. Otro aspecto a considerar es que en el caso que se utilizan sistemas cerrados de enfriamiento por agua, el agua requiere ser tratada químicamente, lo cual contribuye a contaminar el medio ambiente. Por lo tanto, el uso de los sistemas de aire acondicionado con agua de mar contribuye de una manera económicamente eficiente a un medio ambiente más sostenible.

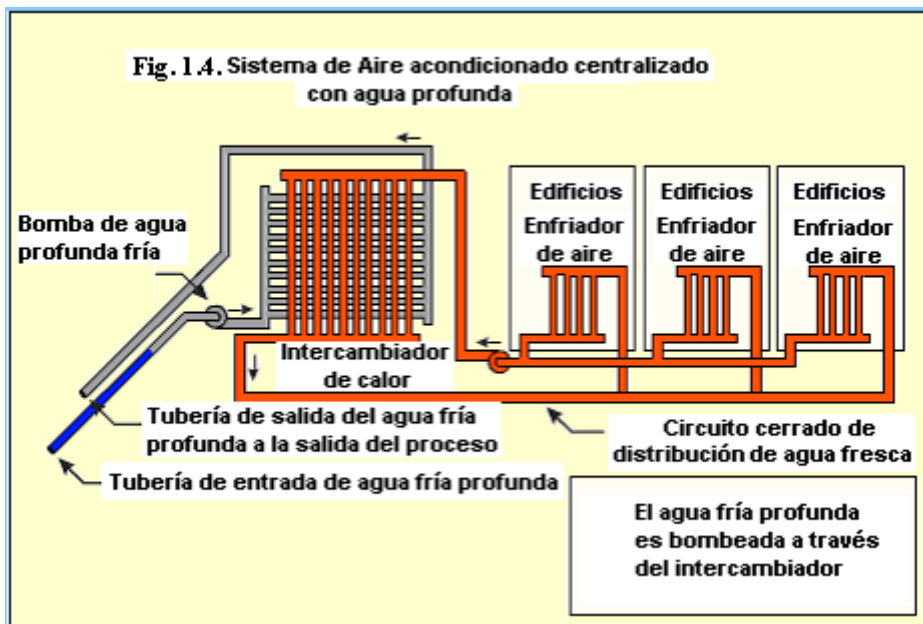
Según Van Ryzin y Leraand (2002), y con lo cual se coincide plenamente, la medida más eficaz para reducir las emisiones de dióxido de carbono sobre una base

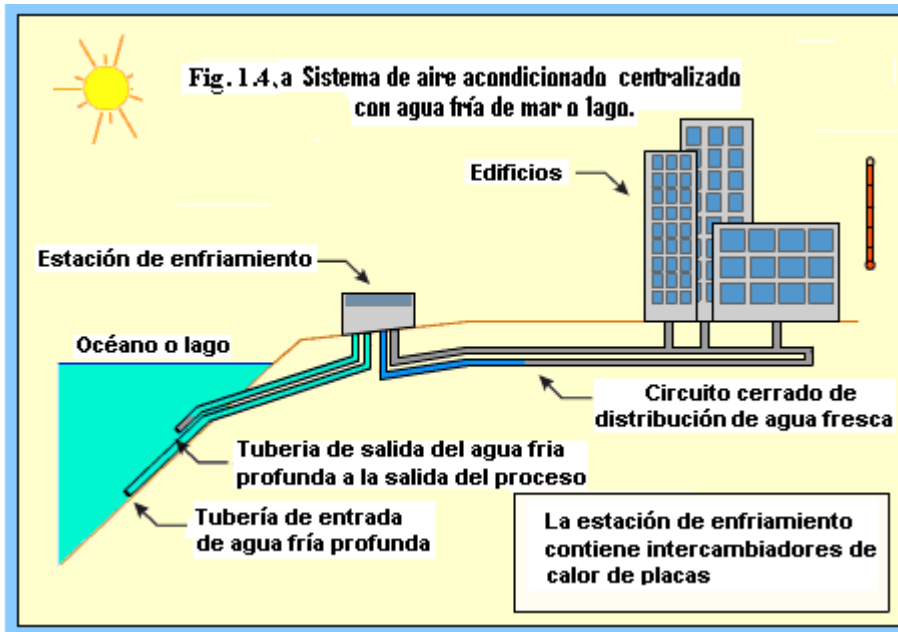
global sería la utilización de los sistemas de aire acondicionado con enfriamiento con agua de mar de las profundidades del Océano para climatizar edificios.

### 1.3. Aplicaciones.

En la página web de Makai Ocean Engineering Inc (2007) se pueden encontrar un número notable de aplicaciones de estos sistemas todas las cuales son ventajosas tanto técnica como económicamente, muchas de las cuales son reportadas en otras páginas web y descritas con mayor profundidad en estas. Se precisan a continuación algunas peculiaridades de estas aplicaciones que deben ser tenidas en cuenta.

“Toronto, la ciudad más grande de Canadá, utiliza ya (y sigue ampliando) un sistema “limpio” de aire acondicionado”, según se reporta en <http://www.elaireacondicionado.com/noticias/sistema-de-aire-acondicionado-limpio-en-toronto.182.html>. (2007), en varios edificios oficiales y de oficinas, aprovechando la gran profundidad (86 m) y bajas temperaturas del Lago Ontario (4 °C) en la época de verano. Su representación gráfica aparece en la Figura 1.4.





El proyecto de enfriamiento con agua del lago de Toronto en Canadá, es el más grande de su tipo en el mundo, según Makai's Ocean Engineering Inc.(2004), obtiene agua fría a aproximadamente 83 metros de profundidad del Lago Ontario y la circula a lo largo de los edificios y oficinas mediante una red subterránea de tubos, los que son construidos de plástico y han sido insulados para reducir la ganancia de calor y evitar un incremento significativo de la temperatura del agua. El agua fría se emplea en los sistemas de enfriamiento a través de intercambiadores de calor suministrados por APV Solutions & Services, una división de Invensys con base en Londres. Estos intercambiadores de calor son de placas.

El sistema es ingenioso: han construido largas tuberías (de unos 5 km) que se introducen en el lago y llegan hasta la zona más profunda. En verano, cuando el Sol calienta las aguas superficiales, el fondo del lago sigue encontrándose a 4 °C.

Las tuberías llevan el agua a un sistema de filtrado, y de allí a otro de transferencia de calor situado en la orilla del lago. Allí llega también un segundo conjunto de tuberías: las que provienen de los edificios que usan el sistema de aire acondicionado (que se encuentra a temperatura ambiente, en verano, hasta 35 °C).

Sin mezclarse en ningún momento, se produce la transferencia de calor entre el agua fría del lago y la fresca proveniente de los edificios, la cual después de ser enfriada y haberse liberado de una gran parte de su energía térmica, la que es absorbida por el agua fría del lago, vuelve de nuevo a los edificios.

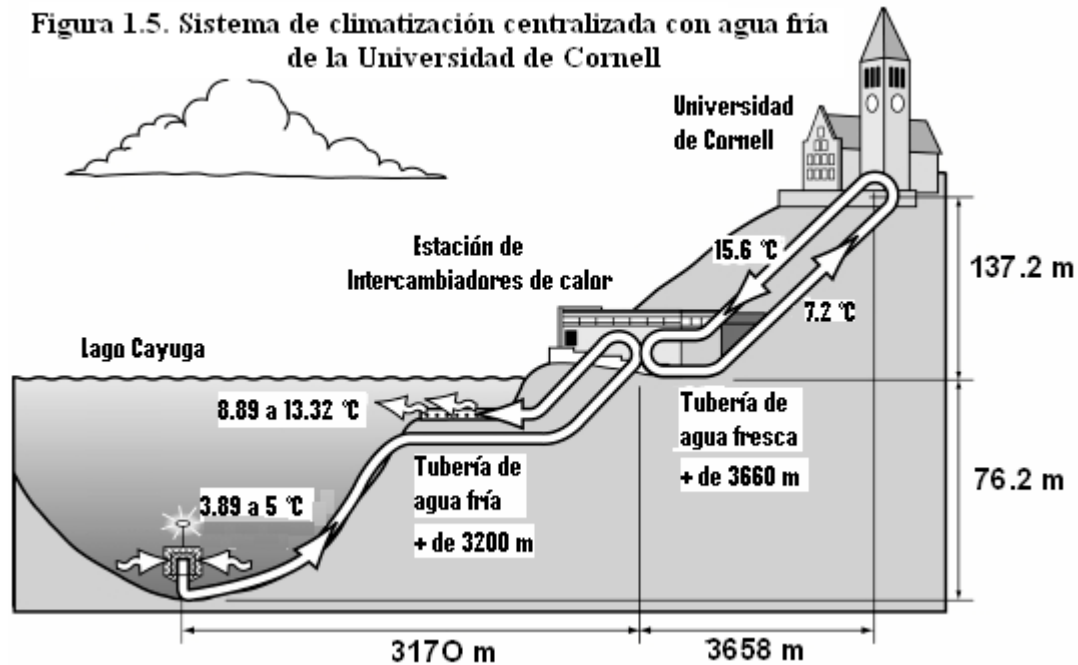
Una vez termina el proceso, el agua del lago sigue su camino hasta los embalses que proporcionan el agua potable a la ciudad, de modo que no se devuelve al lago. De hecho, el sistema va a proporcionar hasta un 15 % del agua consumida en la ciudad.

Según Heffernan (2004) el Lago Ontario tiene unos 18000 km<sup>2</sup> de superficie y 1.7 kilómetros cúbicos de agua. Sus aportes de agua son gigantescos, como por ejemplo el del Río Niágara. En resumen: las cantidades de agua tomadas del lago son absolutamente ridículas en comparación con su volumen total. Y además, es agua que no se toma de ningún otro sitio para consumir en la ciudad.

El sistema ha sido caro: unos 200 millones de dólares (alrededor de 150 millones de euros), pero el ahorro a largo plazo, tanto económico como medioambiental, va a ser muy grande. Desde luego, hacen falta bombas que saquen el agua del lago, pero la energía empleada en el bombeo es ridícula comparada con la de los sistemas de aire acondicionado convencionales, además, esta agua es bombeada para ser consumida como ya se dijo.

Este es el mayor servicio de enfriamiento con agua de un lago de todo el mundo y el primero de su tipo en Canadá, suministrará el 40 % de los requerimientos del sistema de aire acondicionado para el centro de la ciudad de Toronto, consumiendo un 75 % menos de energía que los sistemas convencionales y elimina 40 toneladas de dióxido de carbono, disminuyendo con esto significativamente los niveles de contaminación. Al operar el sistema a máxima capacidad se reducirá el consumo de potencia en verano en 60 MW.

En la Universidad de Cornell ([http://www.utilities.cornell.edu/utl\\_ldlsc.html](http://www.utilities.cornell.edu/utl_ldlsc.html).) se ha introducido este sistema, usando agua fría del fondo del lago Cayuga, el cual se muestra en la Figura 1.5, cuya capacidad de refrigeración es de 20 000 Toneladas según Makai (2007).



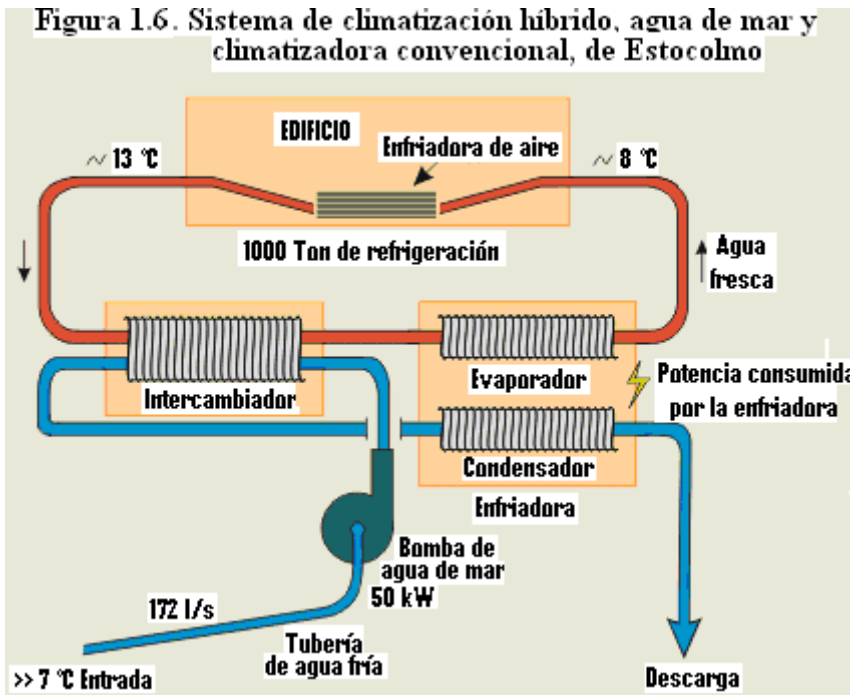
En este sistema la longitud de la tubería agua fresca parece ser mayor, tomando como base los datos de la Figura, a los 3663 m y la de la tubería de agua fría mayor a los 3170 m, aunque Makai plantea que es de 10000 pies (3048 m).

La tubería de suministro del agua fría tiene un diámetro de 66" y la velocidad del agua es de 1.17 m/s. El Sistema funciona con 0.1 KW/ton de refrigeración por lo que se ha reducido el consumo de la energía eléctrica hasta el 13% de la requerida por el sistema de enfriamiento original del campus. Esto representa unos 20 millones de kWh ahorrados en un año. La vida del sistema es de 75 a 100 años, en vez de los 30 a 40 años típicos para las enfriadoras del sistema de enfriamiento original del campus.

En resumen puede afirmarse que el sistema de climatización con agua fría de lago instalado en la Universidad de Cornell ahorra el 87 % de la energía eléctrica requerida por el sistema de enfriamiento original del campus y utiliza una longitud total de la tubería de agua fresca y fría de aproximadamente 7 km.

Son pocas las ciudades y sitios con sistemas de climatización que han tomado ventaja de esta abundante y renovable fuente para el acondicionamiento de aire, en algunos casos por no disponer de agua con la temperatura requerida y en otros por no haberse buscado una solución de proyecto adecuada.

Si no se dispone de agua a temperatura tan baja como en los proyectos anteriores o cuyo valor de temperatura no permita reducir la temperatura del agua fresca procedente de las instalaciones a climatizar en un intercambiador de calor, se puede también reducir el consumo de potencia en climatización con un sistema híbrido de climatización con agua de mar y climatización convencional, como el de la ciudad de Estocolmo (ver Figura 1.6) en el cual la temperatura del agua fría se encuentra a la misma temperatura de la del agua fresca o helada que la de los sistemas de climatización diseñados en Cuba, y base del diseño de las climatizadoras ofertadas por diferentes fabricantes como Carrier (2007). Se destaca que en este caso el consumo de electricidad es superior ya que se requiere el empleo de un compresor y, presumiblemente los costos de inversión sean superiores a los de un sistema de climatización con agua de mar simple como se sobreentiende de la explicación, posteriormente realizada, del sistema de climatización del aeropuerto de Curazao..



### Tuberías.

Según Van Ryzin y Leraand (2002) todas las tuberías de Keahole Point fueron hechas de polietileno de alto peso molecular, el cual es un material flexible, completamente inerte al agua de mar y fácil de instalar, con un tiempo de vida de 20 a 30 años. Añaden que los actuales avances en este campo permiten la construcción de tuberías de hasta 1.6 m de diámetro, con una capacidad de suministro de agua para proveer 18 000 toneladas de refrigeración.

Vega (2001) y otros autores recomiendan el uso de tuberías de plástico reforzado con fibra de vidrio las cuales presentan ventajas similares a las de polietileno.

Como se ha podido apreciar en los trabajos citados anteriormente las longitudes de las tuberías utilizadas en el suministro de agua fría son hasta de 5 km

### 1.4. Ventajas económicas.

Los Sistemas de Aire Acondicionado con Agua de Mar en países tropicales son rentables para proyectos costeros con gran demanda de aire acondicionado y con

acceso a agua de mar profunda a una distancia conveniente de la costa.

Según Van Ryzin y Leraand (2002) los mayores costos para el sistema de aire acondicionado con agua de mar ocurrirían en la inversión inicial, dentro de estos están:

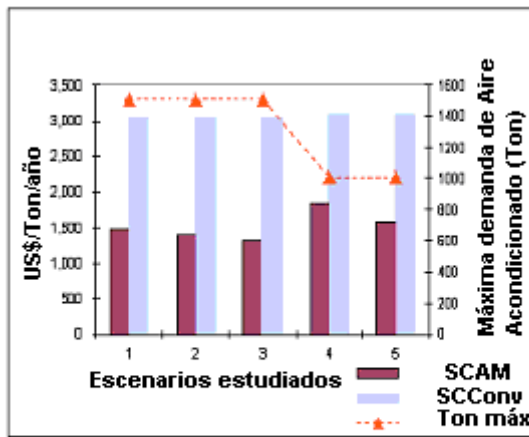
La tubería de suministro de agua fría, la estación de bombeo, los intercambiadores de calor, el sistema terrestre de distribución de agua fresca y la tubería de descarga del efluente. La mayor inversión se hará en el sistema de suministro del agua de mar (tubería de succión, bombas y tubería de descarga). Este segmento representa típicamente del 45 al 75 % de los costos de capital total. En promedio, aproximadamente la mitad de los costos de la inversión están relacionados con el sistema de suministro del agua de mar, el 15 % están en el intercambiador de calor, y el porcentaje restante en el sistema de distribución de agua fresca.

Las necesidades energéticas para el sistema de aire acondicionado de un Hotel son significativas según Makai's Ocean Engineering Inc.(2004). Aproximadamente el 45 por ciento de la electricidad total utilizada en un Hotel es consumida por el sistema de aire acondicionado y cerca de 2/3 de esta cifra se usa en hacer funcionar las enfriadoras y las torres de enfriamiento. Enfriar esta agua requiere aproximadamente 1 tonelada de frío promedio por habitación. Por lo tanto, el funcionamiento de las enfriadoras para mantener el agua enfriada en 7 °C requiere un costo significativo de energía. El otro 1/3 es utilizado en el funcionamiento de los ventiladores para el aire que es enfriado con el agua fresca.

La figura 1.7 muestra una valoración económica realizada en el año 2000 para el proyecto del SCAM del aeropuerto de Curazao en las Antillas Holandesas para cinco escenarios, según reporte de Makai's Ocean Engineering Inc. (2004). La viabilidad económica del sistema de aire acondicionado con agua de mar fue determinada, comparando los gastos de construcción y de explotación del sistema con agua de mar, siendo la longitud de la tubería de agua fría de 2.2 km, con los gastos de la construcción y de explotación de sistemas convencionales de aire acondicionado, incluyendo el funcionamiento al variar las cargas durante el día y las estaciones. El estudio concluyó



que el sistema con aire acondicionado con agua de mar costaba la mitad que los sistemas convencionales como promedio.



**Fig. 1.7. Comparación de los costos del sistema de climatización con agua de mar con el costo de los sistemas convencionales de climatización centralizada del Aeropuerto de Curazao para 20 años de vida útil**

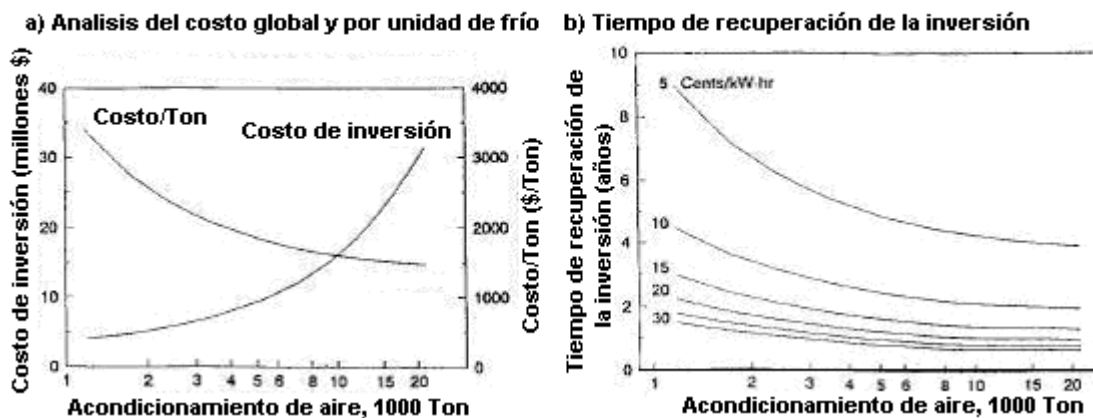
### 1.5. Periodo de reembolso o tiempo de recuperación de la inversión.

Según Van Ryzin y Leraand (1992) el efecto económico del sistema de aire acondicionado utilizando agua de mar se obtiene calculando el período de reembolso. El período de reembolso se define como el costo de inversión total dividido entre los ahorros anuales.

Los ahorros producidos por el sistema de aire acondicionado centralizado con agua de mar se definen como el valor de la demanda eléctrica de la enfriadora en un sistema de aire acondicionado convencional menos el valor de la demanda eléctrica del sistema de bombeo de agua fría del sistema de climatización con agua de mar. Los ahorros son típicamente el 80 por ciento o mayores, no incluyendo los costos de la circulación del agua dulce y del ventilador dentro del edificio los que son iguales en ambos sistemas de climatización ya que el sistema de trasiego de agua helada es el mismo, si se mantienen las temperaturas de trabajo del agua fresca o helada. El mantenimiento de los dos sistemas se considera comparable.

El costo de la inversión total calculado, como muestra la figura 1.8a para el sistema de aire acondicionado con agua de mar de Keahole Point, Hawai, según Van Ryzin y Leraand (1992), está basado en una tubería de 2,2 kilómetros de longitud y se valoró el empleo de tubos de diámetro entre 300 y 1000 mm. El período de reembolso se puede también definir en función de la demanda de aire acondicionado y de las tarifas eléctricas locales. Observe en la figura 1.8b que cuando las tarifas eléctricas locales aumentan, el período de reembolso o tiempo de recuperación de la inversión se reduce.

**Fig.1.8. Análisis del Costo de sistemas de aire acondicionado centralizado con agua profunda para una longitud de la tubería de agua fría profunda de 2,2 km de Keohole Point, Hawaii.**



## 1.6. Resultados.

Del análisis anteriormente realizado se llega a los siguientes resultados generales:

El sistema de climatización con agua fría es económico y ambientalmente benigno ya que:

- Usa una fuente de energía renovable.
- Economiza energía eléctrica. Ahorra no menos del 75 % en sistemas simples como el de Toronto, el 87%, según se reporta en la página web de la Universidad de Cornell (2007) [http://www.utilities.cornell.edu/utl\\_idlsc.html](http://www.utilities.cornell.edu/utl_idlsc.html). y una cifra superior aún, de la energía usada en los sistemas de aire acondicionado convencionales.
- Es una tecnología probada, segura y de fácil construcción, siendo la colocación de la tubería de agua profunda la única complejidad de la ejecución de la obra existente.

- Es un paliativo a la reducción de la confianza en el uso de los combustibles fósiles y trae aparejado una reducción en la contaminación atmosférica, la lluvia ácida y el calentamiento global que las emisiones de los productos de la combustión traen aparejado.
- El período de recuperación de la inversión es corto y depende del costo de la energía eléctrica sustituida en la localización donde se realice el proyecto.
- La inversión es más eficiente económicamente que la de un sistema de climatización centralizado convencional para los casos en que, desde luego, sea aplicable.
- Es rentable a largo plazo ya que presenta dos veces la vida útil de los sistemas convencionales de aire acondicionado existentes, a lo cual se adiciona un ahorro significativo en el consumo y costo de energía eléctrica.
- Su costo de explotación es casi independiente de los aumentos futuros del costo de la energía debido a la reducción sustancial del consumo de electricidad que se alcanza con ellos.
- La disponibilidad de agua fría, de mar o lago, para usos secundarios con posterioridad a su empleo en el sistema de climatización trae otra ventaja adicional, la cual hace esta solución aún más ventajosa económicamente.

### **1.7. Elementos para su aplicación en las condiciones de Cuba.**

Para mostrar las potencialidades generales de esta propuesta en Cuba se tomará como base una cadena o grupo de hoteles cuyo consumo anual de energía eléctrica es de 38220 MWh y una potencia frigorífica instalada de 2800 Ton, la cual tiene una estructura de consumo de energía eléctrica de 62 %, entre instalaciones de climatización centralizada y máquinas frigoríficas para la conservación de alimento. Se considera el consumo específico de combustible para el suministro de energía eléctrica del Sistema Eléctrico Nacional (350 g/kWh) para el Occidente del país y el costo del petróleo crudo del mar del Norte del mes de Junio de 2007, se fija la longitud de la tubería de agua fría de 2,2 kilómetros y un ahorro de energía eléctrica al aplicar la tecnología solo del 80 % del consumo del sistema de climatización en las instalaciones con sistema de climatización

con agua de mar. Se toma como precio de la energía eléctrica el valor promedio del costo del sector turístico: 0.12 \$/kWh.

Procediendo.

La reducción del consumo de energía eléctrica Eelectahorrada será:

$$\text{Eelectahorrada} = \text{Eelect cadena} * \% \text{ Consumo inst de frío} * \% \text{Eelect ahorrada}$$

$$\text{Eelectahorrada} = 38220 \text{ MWh/año} * 0.62 * 0.80 = 18957.12 \text{ MWh/año}$$

El valor de la energía eléctrica ahorrada Celect ahorrada será:

$$\text{Celect ahorrada} = 18957.12 \text{ MWh/año} * 1000 \text{ kWh/MWh} * 0.12 \text{ \$/kWh} = 2\ 274\ 854.40 \text{ \$/año}$$

El combustible ahorrado Comb ahorrado será:

$$\text{Comb ahorrado} = 18957.12 \text{ MWh/año} * 1000 \text{ kWh/MWh} * 350 \text{ gr/kWh} * 1 \text{ Ton}/1000000 \text{ gr}$$

$$\text{Comb ahorrado} = 6634.992 \text{ Ton/año}$$

El costo del combustible ahorrado Ccomb ahorrado será:

$$\text{Ccomb ahorrado} = \text{Comb ahorrado} * \text{Cucomb} = 6634.992 \text{ Ton/año} * 446.886 \text{ \$/Ton}$$

$$\text{Ccomb ahorrado} = 2\ 965\ 085 \text{ \$/año.}$$

Nota: En la actualidad el valor del petróleo ahorrado es muy superior (para 84 \$/barril es 3 678 440 \$/año y para 95 \$/barril es 4 160 140 \$/año).

Según trabajos anteriores, Landa (2003) y Landa y Vizcón (2004), la reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos puede ser estimada a partir de índices de emisiones característicos de los componentes de la mezcla de petróleo crudo nacional mejorado utilizada, en este caso se utilizará un índice de emisión total de contaminantes atmosféricos obtenido para una Central Termoeléctrica del país (2.98 Ton de emisiones/ (Ton de combustible)):

$$\text{Econtaminantes} = 6634.992 \text{ Ton/año} * 2.98 \text{ Ton de emisiones/ (Ton de combustible)} =$$

$$\text{Econtaminantes} = 19772.28 \text{ Ton/año}$$

De estas emisiones el 98 % es de CO<sub>2</sub> (g) y el resto son, en lo fundamental, óxidos de azufre, por lo cual estas favorecen la formación de la lluvia ácida y provocan problemas de salud.

Al ser la potencia frigorífica instalada de 2400 Ton de la figura 1.8 a se obtiene en forma aproximada que el costo de inversión es de 6 millones de dólares y el período de recuperación de la inversión es de 2,7 años según la figura 1.8b, ahora, teniendo en cuenta que, según Van Ryzin y Leraand, el período de reembolso se define como el costo de inversión total dividido entre los ahorros anuales y que el ahorro de energía eléctrica asignado es solo el 80 % se obtiene que el período de recuperación de la inversión es  $T = I / \text{Celect ahorrada} = 6 \cdot 10^6 \$ / 274\ 854.40 \$/\text{año} = 2.64$  años, por lo que existe coincidencia entre los resultados obtenidos a partir de la figura 1.8b si no se tiene en cuenta el incremento del índice de costos en el período transcurrido.

Si este análisis se desarrollase a partir del costo del combustible ahorrado se verá que el tiempo de recuperación de la inversión se reduce, por ejemplo para Junio en que el barril costaba 67.71 \$ sería de 2.02 años, para un costo de 84 \$/barril sería de 1.63 años y para 95 \$/barril sería de 1.44 años. Esto indica las ventajas económicas de emplear el sistema de climatización de agua fría de mar.

Debe señalarse que en Cuba este tipo de instalaciones solo puede ser aplicada en puntos específicos de la costa, de profundidades considerables superiores a los 700 m, creciendo el beneficio total con la profundidad del sitio, pudiéndose lograr ahorros sustanciales en las instalaciones turísticas existentes en lugares con estas condiciones o que se construirán en estos, debiendo señalarse que en estos la distancia de la costa al punto de la toma al cual se alcanza la profundidad requerida puede ser menor que 2.2 km, lo que hace que se debe reducir en estos casos el costo de inversión, y que en otros casos puede ser superior, pero hay muchas situaciones en que es muy ventajosa la instalación de estos sistemas o sistemas híbridos de los anteriores como el de Estocolmo.

Debe señalarse que en países de clima templado, en verano, la temperatura del agua puede ser adecuada cerca de la costa a pequeñas profundidades, si estas se comparan con el caso de las profundidades que se requieren en los países tropicales, por lo que las posibilidades de uso de este recurso en la climatización de locales son muy grandes y existe un universo de soluciones donde las tuberías de agua fría son menores que las reportadas en los trabajos citados anteriormente. No puede dejar de señalarse las posibilidades que existen en el enfriamiento de procesos industriales.

### **Conclusiones.**

El estado del arte y la experiencia internacional existente indican la posibilidad de introducir en Cuba los sistemas de climatización con agua de mar en áreas con profundidades considerables no menor a 700 m y en otros casos el empleo de sistemas híbridos aunque su efecto económico es menor.

Las altas temperaturas existentes en Cuba, a lo largo de todo el año, provocan un alto consumo de energía eléctrica en los sistemas de climatización coadyuvando a favorecer los resultados económicos que se obtienen al aplicar esta tecnología.

La aplicabilidad de la tecnología en Cuba y países tropicales se limita a zonas cercanas a la costa donde existan grandes profundidades ya que se requieren bajas temperaturas del agua a utilizar, mientras que en países de clima templado puede ser aplicado en una gran variedad de situaciones ya que en verano se dispone de agua a menos de 6 °C en lagos y en áreas costeras de poca profundidad.

La tecnología de climatización con agua de mar profunda puede ser aplicada tanto a países de clima cálido como templado o frío, siendo útil en el segundo caso en los meses de verano y en el primero durante todo el año, por lo que puede obtenerse un beneficio superior en los primeros.

El incremento de los costos del petróleo favorece el desarrollo de investigaciones en este campo y la aplicación de los sistemas de climatización centralizado con agua de mar.

### **Recomendaciones.**

Profundizar en la búsqueda de materiales y métodos para la construcción y diseño de las tuberías de suministro de agua fría.

Realizar el proyecto de un sistema de climatización con agua de mar para las condiciones del área costera de Cuba sin modificar los enfriadores de aire de las habitaciones.

Realizar el proyecto de un sistema de climatización con agua de mar para las condiciones del área costera de Cuba modificando los enfriadores de aire de las habitaciones de forma que se amplíen las posibilidades de uso del recurso.

Realizar proyectos de un sistema de climatización híbrido, con agua de mar y con enfriadoras para las condiciones del área costera de Cuba sin modificar y modificando los enfriadores de aire de las habitaciones de forma que se amplíen las posibilidades de uso del recurso y se establezcan alternativas de empleo de este recurso en diferentes áreas costeras de Cuba.

### **Bibliografía.**

Anónimo. Sistemas de Aire Acondicionado con Agua de Mar, consultado en 2006. Disponible en Internet en <<http://www.ecofys.com/es/documents/SWAC.PDF>>

Anónimo. Sistema de aire acondicionado limpio en Toronto, 2002, consultado en 2007. Disponible en Internet en <http://www.elaireacondicionado.com/noticias/sistema-de-aire-acondicionado-limpio-en-toronto.182.html>.

Anónimo. SeaWater Air Conditioning (SWAC). 2004. Disponible en Internet en: [www.makai.com/p-swac.htm](http://www.makai.com/p-swac.htm). Consultado en 2007.

Anónimo. Entire Website Environment Pages Technical Pages Nickel Magazine. Disponible en Internet en: <[http://www.nickelinstitute.org/index.cfm/ci\\_id/13091/la\\_id/12.htm](http://www.nickelinstitute.org/index.cfm/ci_id/13091/la_id/12.htm)>

Binger A. (2003). Potential and future prospects for Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) in small islands developing states (SIDS). Disponible en Internet

Bechtel, M. y Netz E. (2001). “OTEC - Ocean Thermal Energy Conversion” disponible en Internet: <<http://exergy.se/goran/cng/alten/proj/97/ot/ot.html#Intro>>

(Cabrera Gorrín, Osmel. 2003). Reflexiones sobre el consumo energético en el sector hotelero cubano. [en Línea]. Disponible en: [www.monografias.com](http://www.monografias.com). [Consultado en Enero 2004].

(Campos, J.C. et all. 1995). La Eficiencia energética en la competitividad de las empresas. Universidad de Cienfuegos.

(Campos Abella, Juan Carlos. 1995). La eficiencia energética en la gestión empresarial. Universidad de Cienfuegos.

(Calderón, Ana. 1996). Manual Energético. La Habana. Impreso Cadena Islazul.

(Comisión de Energía de la Comunidad Económica Europea. 1991). Uso Racional de la Energía en el Sector Hotelero. Editorial URE

(Cardero Corría, G. 2004). Problemas energéticos de los sistemas centrales de climatización. Revista Energía Racional del FIDE (México). No. 50: 48 – 52, enero – marzo.

(González Rodríguez, Rigoberto. 1996). Influencia de la temperatura ambiente en el comportamiento energético de un ciclo de refrigeración con recuperación de calor. La Habana. Editorial Pueblo y Educación.

(Grupo de energética del MICONS. 1998). Medidas y sugerencias para el ahorro y uso racional de la energía. Ministerio de la Construcción. Abril.

Fernández Díez (2003). “Energía Maremotérmica” .pp. 1 – 13 citado: 2-ago-2003], disponible en Internet en : <<http://www.hawaii.gov/dbed/6Termicamarina.pdf>>.

Heffernan V. (2004) Una Solución Cool. Los Intercambiadores de calor de acero inoxidable son la clave para eficientizar el consumo de energía de los equipos de aire acondicionado. Revista dedicada al níquel y sus aplicaciones. Magazine. Julio 2004. Volumen 19, Number 3. Disponible en Internet en: [http://www.nickelinstitute.org/index.cfm/ci\\_id/13091/la\\_id/12.htm](http://www.nickelinstitute.org/index.cfm/ci_id/13091/la_id/12.htm).

(Landa García, Juan y Jorge Luis Pelladito Williams, 2004). Correlación lineal entre el consumo de energía eléctrica y parámetros climatológicos y ocupacionales. Revista Retos Turísticos. Universidad de Matanzas. Cuba.

Landa García, J. (2003). Evaluación de un sistema de trasiego de miel de afinación de una refinería de azúcar de caña. Revista Avanzada Científica, Matanzas, Cuba, disponible en Internet en [www.atenas.inf.cu](http://www.atenas.inf.cu)



Landa García, Juan y Vizcón Toledo R. (2004). Estimadores cuantitativos de la emisión de contaminantes atmosféricos por combustión del petróleo crudo cubano y su efecto económico. Revista Ingeniería energética. Volumen XXV, 2/2004. Ciudad de la Habana, Cuba.

(Montelíer Hernández, Sergio , Aníbal Borroto Nordelo, Margarita Lapidó Rodríguez, José Monteagudo Yáñez, Mario Álvarez Guerra Plasencia y Juan C. Armas, 2005). Influencia de las principales variables climatológicas en la operación de los sistemas de climatización de agua helada. 4<sup>to</sup> Taller Internacional de Energía y Medioambiente. Universidad de Cienfuegos. Cuba.

(Pelladito Williams, Jorge Luis. 2003). Estudio para la reducción del consumo de energía eléctrica en Villa Lamar. Tesis (en opción al título de Master en Termoenergética Industrial). Tutorado por Juan Landa García. Universidad de Matanzas. Matanzas. Cuba.

(Pelladito Williams, Jorge Luis, Juan Landa García y Carlos Roque Beltrán, 2004). Análisis del consumo de energía eléctrica en Villa Lamar. Revista Electrónica “Avanzada Científica”. Matanzas. Cuba.

(Rodríguez Rodríguez, Jesús M.. 2003). Movimiento por la Excelencia Energética. En: Forum de Ciencia y Técnica ( XIV : Varadero ).

Sánchez Ávila et al (2007). Mantenimiento y ahorro de energía en el sector turístico. XVI Forum de Ciencia y Técnica. Premiado con la Categoría de Destacado. La Habana. Cuba.

(Stoecker, W.F. 1987). Refrigeración y acondicionamiento de aire. La Habana. Edición Revolucionaria.

Nakashima, T. (1995). Research activities at Korchi artificial upwelling laboratorio on the utilization of deep seawater resources. IOA Newsletter, 6, No.4.1- disponible en Internet en: <<http://www.google.com>.>

Van Ryzin, J.R. y T. Leraand. 1992. Air Conditioning with Deep Seawater: A cost-Effective Alternative, Ocean Resources 2000 Sea Technology Magazine, September, p. 37.

Vega, L. A. et al (2001). “Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)” IOA Newsletter Vol.12, No.4/Winter 2001 disponible en Internet en : <<http://www.Newsletter.com>.

[http://www.utilities.cornell.edu/utl\\_1scabout.html&prev=/search3Fq3DAIR2BCONDITI  
ONING2BWITH2BDEEP2BSEAWA](http://www.utilities.cornell.edu/utl_1scabout.html&prev=/search3Fq3DAIR2BCONDITI<br/>ONING2BWITH2BDEEP2BSEAWA)

[http://www.utilities.cornell.edu/utl\\_ldlsc.html](http://www.utilities.cornell.edu/utl_ldlsc.html)

[http://www.utilities.cornell.edu/utl\\_lscwhy.html&prev=/search3Fq3DAIR](http://www.utilities.cornell.edu/utl_lscwhy.html&prev=/search3Fq3DAIR)

[http://www.utilities.cornell.edu/utl\\_lscfte\\_howlscworks.html&prev=/search3Fq3DAIR2BCONDITIONING2BWITH2BDEEP2BSEAWATER:26hl3Des26ie3DUTF-826sa3DG](http://www.utilities.cornell.edu/utl_lscfte_howlscworks.html&prev=/search3Fq3DAIR2BCONDITIONING2BWITH2BDEEP2BSEAWATER:26hl3Des26ie3DUTF-826sa3DG).