

CEER-S-091

**DESARROLLO DE FUENTES ALTERNAS
DE ENERGIA SOLAR PARA EL CARIBE**

por

**Dr. Juan A. Bonnet, Jr.
Director**

CENTRO PARA ESTUDIOS ENERGETICOS Y AMBIENTALES
UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO



CENTER FOR ENERGY AND ENVIRONMENT RESEARCH
UNIVERSITY OF PUERTO RICO — U.S. DEPARTMENT OF ENERGY

DESARROLLO DE FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA SOLAR
PARA EL CARIBE

Por:

Dr. Juan A. Bonnet, Jr.
Director
Centro para Estudios Energéticos y Ambientales
Universidad de Puerto Rico

Presentado en el

Primer Taller Subregional Sobre Fuentes No Convencionales
de Energía Para Los Países Del Caribe De Habla Hispana

Santo Domingo, República Dominicana
8 al 10 de abril de 1981

DESARROLLO DE FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA SOLAR PARA EL CARIBE

Por: Dr. Juan A. Bonnet, Jr.
Centro para Estudios
Energéticos y Ambientales
Universidad de Puerto Rico

ABSTRACTO

Puerto Rico es un ejemplo dramático de la urgente necesidad de desarrollar fuentes alternas de energía y controles ambientales en el Caribe. Esta isla densamente poblada depende en 90 por ciento del petróleo importado que le cuesta la suma brutal de más de mil quinientos millones de dólares al año. Sus problemas ambientales se encuentran generalmente a nivel crítico.

Por otro lado, la isla recibe grandes cantidades de energía solar.

En atención a estas circunstancias, la Universidad de Puerto Rico entró en acuerdo con el Departamento de Energía de los Estados Unidos para establecer el Centro para Estudios Energéticos y Ambientales (CEEA) en 1976.

El CEEA desarrolla programas encaminados a explotar los inagotables recursos del sol, vegetación y mar, así como el potencial inherente en la conservación, reciclaje, conversión o eliminación de los productos de desecho y sustancias contaminantes que afectan a la sociedad moderna.

El CEEA ha obtenido progresos significativos en estos empeños.

Es el propósito de este trabajo señalar los alcances de los programas que desarrolla el CEEA y analizar los logros más significativos.

INTRODUCCION

El Centro para Estudios Energéticos y Ambientales (CEEA) fue establecido para realizar programas de investigación y otras iniciativas tendientes a desarrollar fuentes alternas de energía aprovechando los singulares recursos y condiciones de Puerto Rico. El CEEA, creado para beneficio tanto de los Estados Unidos como de Puerto Rico, fue organizado en julio de 1976 por contrato entre la Universidad de Puerto Rico y la Administración de Investigaciones y Desarrollo Energéticos de los Estados Unidos que ahora forma parte del Departamento de Energía (DOE) de la nación. La Figura número 1 enseña la fachada del edificio principal del CEEA en San Juan.



FIG. 7 - EDIFICIO DE LAS OFICINAS PRINCIPALES DEL CEEA EN SAN JUAN, PUERTO RICO

Entre 1976 y 1981, el Departamento de Energía habrá facilitado alrededor de 10 millones de dólares para que el CEEA pueda reclutar el personal de investigación, adiestrar y readiestrar a los científicos de la Universidad de Puerto Rico para la investigación energética, y adquirir el equipo de investigación necesario.

La Universidad se propone desarrollar un programa sistemático de investigación que envuelva la mayoría de sus facultades y recintos, en colaboración con otras universidades e instituciones de investigación, las agencias del gobierno federal y locales, y grupos del sector privado.

PRINCIPALES OBJETIVOS DEL CEEA

- . Ayudar mediante la investigación a conseguir fuentes alternas de energía útiles dentro de un régimen de seguridad ambiental.
- . Ayudar a desarrollar científicos, ingenieros y personal técnico especializado en las áreas de energía y ambiente.
- . Servir de enlace en programas de cooperación internacional relacionados con la energía y el ambiente, particularmente en el Caribe y América Latina.

Para realizar dichos objetivos, el CEEA cuenta con oficinas, equipo, laboratorio y talleres en San Juan y Mayaguez valorados en

más de 12 millones de dólares, promoviendo así alta calidad en la investigación aprovechando la experiencia de que se dispone dentro del sistema universitario. Atrae el talento en el sistema universitario hacia el campo energético; y se esfuerza por mejorar la calidad académica y por desarrollar planes de estudios sobre la energía con el fin de consolidar los esfuerzos de la Universidad, la industria, el gobierno y la comunidad.

Los programas de investigación del CEEA comprenden dos áreas principales: la energía y el ambiente. Aunque los programas y proyectos de cada área son independientes y organizados por separado, existen estrechas relaciones de trabajo entre las distintas divisiones, de modo que cada problema es considerado tanto en su aspecto ambiental como en el energético. Ambos aspectos son esenciales en el desarrollo de nuevos escenarios para Puerto Rico.

A continuación se presenta una breve descripción de algunos de los programas energéticos principales.

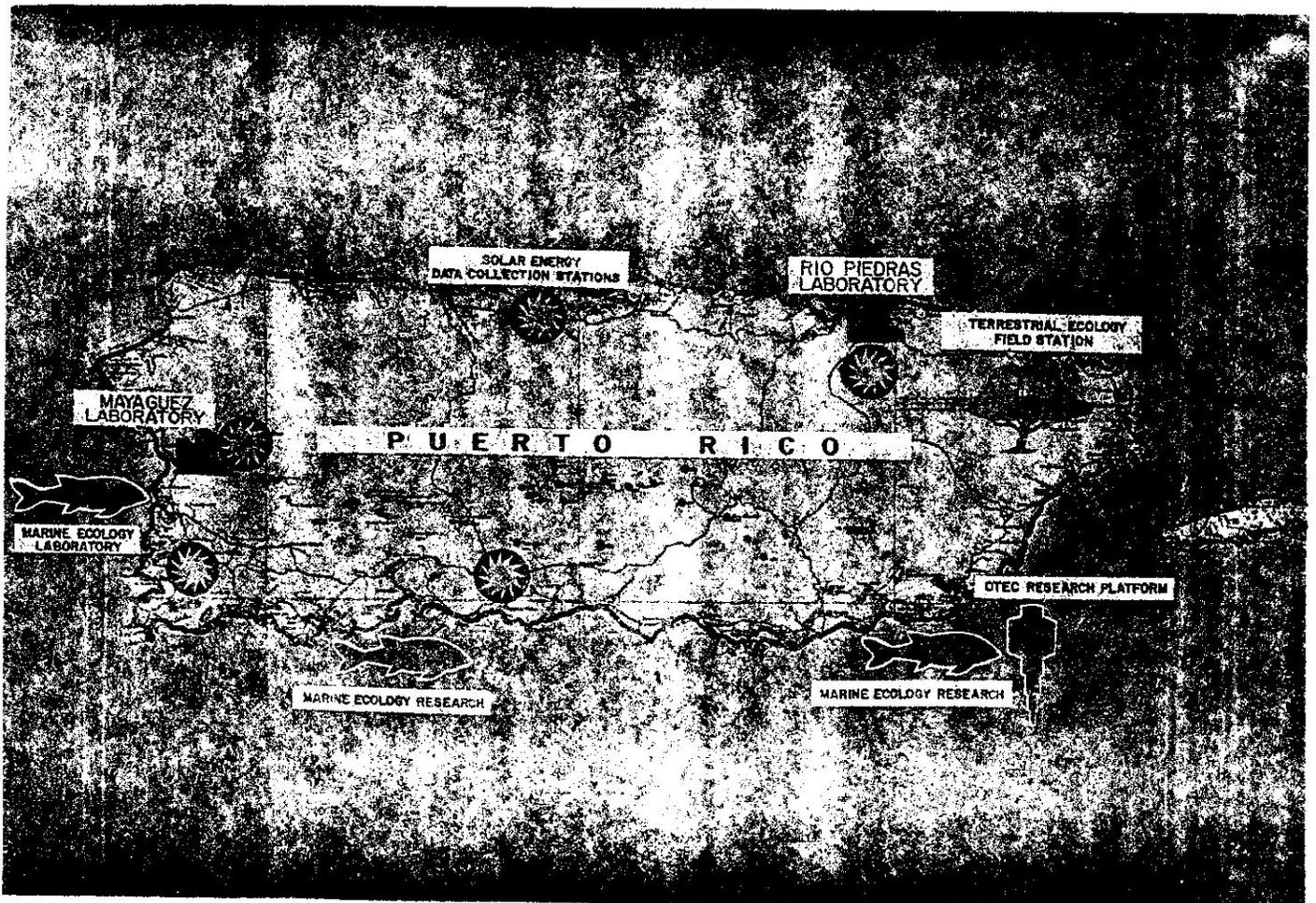
Energía Solar

Uno de los principales objetivos del CEEA es llevar a cabo proyectos de investigación y desarrollo cabales en el campo de la energía solar tomando en cuenta la abundancia de luz solar directa en el Caribe.

La isla goza de condiciones ideales para la investigación y el desarrollo solar y para la comercialización de tecnologías solares.

En un área de sólo 8,800 kilómetros cuadrados hay gran variedad de zonas climáticas, desde lo árido hasta la humedad del bosque de lluvia, pero todas, con un alto grado de insolación.

Las mediciones muestran que las zonas costeras del norte y sur reciben un promedio de 2,000 kilovatios hora por metro cuadrado de insolación, lo que es similar a muchas otras áreas del Caribe. Constantemente se están recogiendo datos solares a través de una serie de estaciones repartidas por toda la isla. La localización de las estaciones e instalaciones principales del CEEA están indicadas en el mapa de Puerto Rico en la figura número 2.



Instalaciones del CEEA en Puerto Rico

Fig. 2

Estos datos forman la base para la experimentación con calentadores solares de agua con fines residenciales, acondicionadores de aire solares, generadores de vapor industrial y sistemas de almacenamiento de calor. Se están llevando a cabo también en colaboración con la Universidad de Puerto Rico, estudios y evaluaciones de materiales solares para el mejoramiento de las células fotovoltaicas.

Colector Solar para la Producción de Vapor Industrial

La División de Energía Solar del CEEA ha diseñado, construido y evaluado un concentrador de energía solar para la producción de vapor industrial en el medioambiente tropical.

El concentrador consta de una superficie reflectiva (espejo) en forma de zanja incidente que concentra la luz en un tubo de cobre (absorbedor) donde se convierte en energía térmica y se transfiere a un líquido. El factor de concentración es de 5.25. El absorbedor de cobre está sellado dentro de un tubo de cristal al vacío (-10^{-5} Torr) para minimizar las pérdidas de energía por convección y conducción. El fluido que se lleva el calor circula en un conducto de cobre en forma de "U" soldado al absorbedor a intervalos de 2.5 cm.

Un aspecto innovador de este colector es la segmentación de la superficie reflectiva y su encapsulación dentro de tubos de cristal (tubos de bajo costo de los usados en las lámparas fluorescentes).

Esta característica provee un soporte estructural liviano a la vez que protege al espejo del medioambiente tropical que es muy corrosivo. La superficie reflectiva consiste de una película de aluminio sobre acrílico (reflectividad espectral de 86%), pegada a una lámina de flexiglass de 3 mm de espesor.

La forma de la superficie reflectiva no es una parábola sino una zanja parabólica compuesta ("compound parabolic trough"). A esta forma también se le llama un concentrador "ideal" en dos dimensiones. Este concentrador no forma una imagen de la fuente de luz como lo haría una parábola o un lente. Es "ideal" en el sentido de que tiene una eficiencia máxima teórica para capturar la luz que incide a ángulos fuera de la dirección perpendicular a la apertura del colector. Esta característica permite la colección de luz difusa dentro de un ángulo de 18°. También reduce la necesidad de un mecanismo para seguir la trayectoria solar.

El colector del CEEA fue diseñado para producir vapor industrial a temperaturas entre 350 a 550°F, pero podría usarse en otras situaciones donde se requiera temperaturas más altas de las alcanzables con colectores solares planos. La figura número 3 enseña una foto de este colector.



Colector Solar para la Producción de Vapor Industrial. El Dr. Kenneth Soderstrom, Director Asociado, y el Dr. Angel López, Científico, aparecen en la foto.

Fig. 3

Aire Acondicionado por Energía Solar

Originalmente los edificios para los laboratorios y el reactor nuclear experimental del CEEA en Mayaguez se suplían de aire acondicionado por medio de una unidad centrífuga con capacidad de 1580 kilovatios de refrigeración (450 toneladas) y una caldera de 529,200 Kg. Cal.

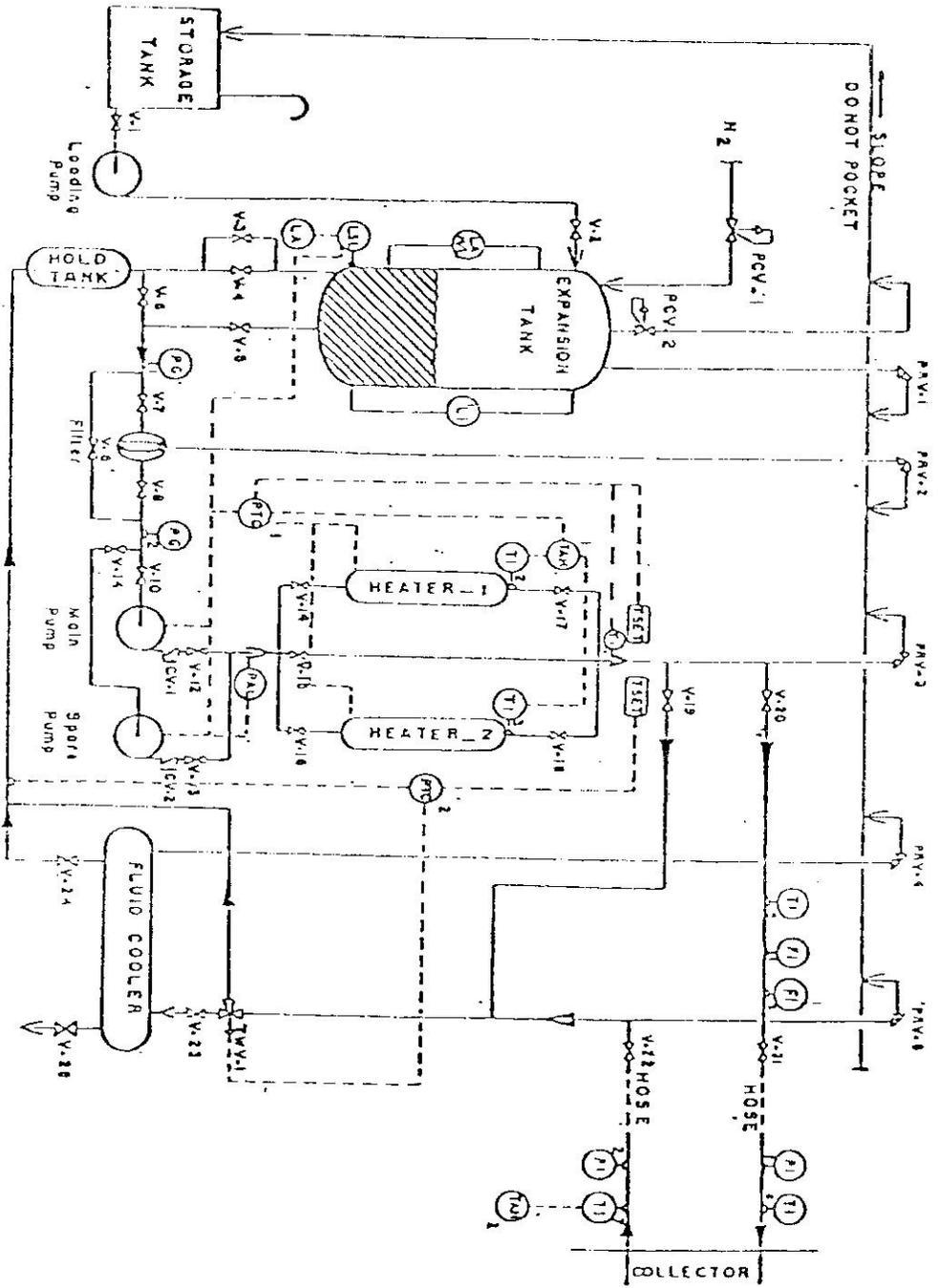
Debido a que en estos edificios se manejaba material radiactivo, el aire no se recirculaba. Por eso se requería una máquina centrífuga de gran tamaño.

Al decomisarse el reactor y establecerse nuevas normas de operación se rediseñó el sistema de aire acondicionado encontrándose unos requerimientos del orden de 350 kilovatios de refrigeración.

Debido a estos nuevos requerimientos se rediseñó el sistema para que utilizara energía solar.

Mediante una asignación del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) se está dando curso a la instalación de un sistema de aire acondicionado basado en una unidad de absorción con capacidad de 350 kilovatios de refrigeración. El sistema servirá de modelo para demostrar la viabilidad de la refrigeración solar en escala industrial y comercial. La figura número 4 enseña un esquema de flujo de este proyecto.

SCH. MATIC OF TEST FACILITY



Esquema de Flujo del Sistema de Aire Acondicionado por Energía Solar

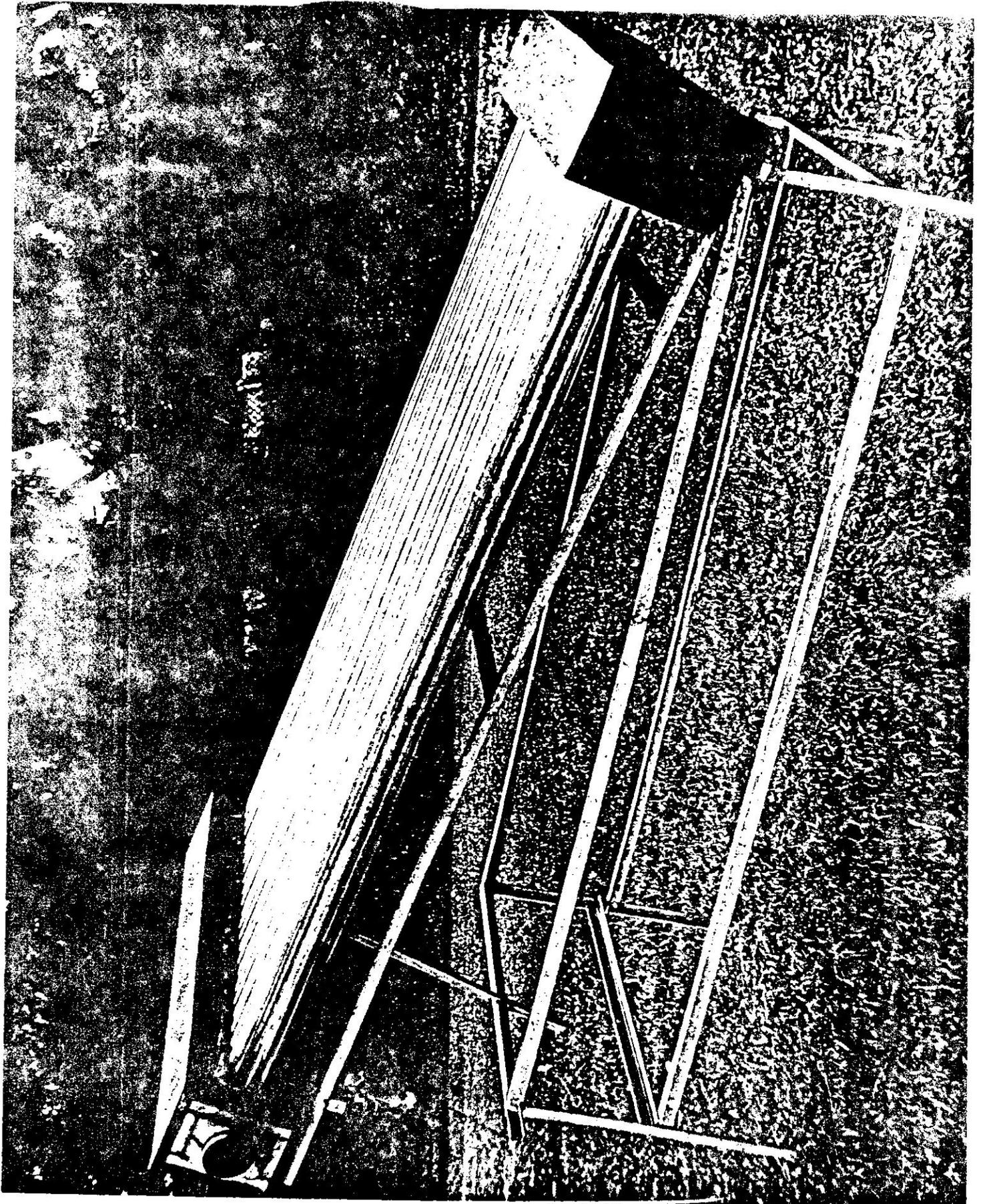
Fig. 4

Secado Solar del Aire

Este programa estudia un sistema de secar aire con gel de sílice, la cual es regenerada con aire calentado por energía solar.

El estudio se hace con miras a utilizar el aire seco para dos finalidades distintas. La primera sería para mantener un ambiente seco sin alterar la temperatura ambiental (30-40°C). Un uso sería para almacenar equipo que es afectado por la humedad pero no por la temperatura. La segunda es para proveer aire seco y frío. El aire al salir de la máquina de secado tendría que ser enfriado con un sistema de refrigeración convencional. Esto ahorra el gasto de energía para disipar el calor liberado por la condensación de la humedad del ambiente. En el trópico este gasto es de consideración.

El programa incluye la construcción y evaluación de un colector con tubos al vacío diseñado especialmente para el calentamiento del aire usado en la regeneración de la gel. En estos momentos, el colector está en la etapa de pruebas y evaluación. Ver figura número 5.



Colector con Tubos al Vacío. Calentador de Aire para Regenerar la gel.

Fig. 5

Además de estas pruebas experimentales, se conducen estudios teóricos mediante el uso de un modelo simulador. El modelo se presta para analizar el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones de funcionamiento, lo que permite el cálculo teórico de los valores óptimos para los distintos parámetros de operación.

Estación Experimental para Sistemas Fotovoltaicos Residenciales

Un proyecto propuesto al DOE es el establecimiento y operación de una estación experimental de sistemas fotovoltaicos residenciales. El fenómeno fotovoltaico convierte la energía lumínica en energía eléctrica directamente. Esto se consigue usando planchas finas de semiconductores. En la actualidad estos materiales se pueden producir sólo en la forma de celdas de un tamaño máximo de 200 cm x 200 cm. La mayoría se produce en tamaño de 5 cm x 5 cm.

Un sistema fotovoltaico residencial consta de dos partes principales. El módulo fotovoltaico en el techo de la casa es el arreglo de celdas interconectadas. La energía eléctrica producida por el módulo es en forma de corriente directa. La segunda parte del equipo es el invertidor de corriente directa a corriente alterna la cuál es el tipo de electricidad usada por los utensilios eléctricos residenciales. Los primeros sistemas fotovoltaicos residenciales no tendrán un componente de almacenamiento (baterías) ya que esto aumenta el costo del sistema considerablemente. Estos sistemas estarán conectados

a la red de producción y distribución de electricidad existente. Si el sistema fotovoltaico produjera más energía de la usada en la residencia en un momento dado, ésta sería transferida a la red. Por otro lado la residencia recibiría energía de la red si no hubiera sol.

La estación propuesta tendría un sistema computarizado para la adquisición y almacenamiento de datos de la energía incidente sobre las celdas, la energía convertida en electricidad DC, la energía convertida a electricidad AC, la energía usada en la residencia, la energía transferida a la red y la energía recibida de la red.

Este sistema computarizado se ubicaría en un edificio central donde habría espacio para la construcción de quince prototipos de sistemas fotovoltaicos, cada uno de 7 m x 20 m. Compañías privadas diseñarían e instalarían los prototipos. Se usaría el sistema de adquisición de datos para determinar el comportamiento de cada prototipo, bajo condiciones meteorológicas idénticas. Los prototipos de mejor rendimiento pasarían a la segunda fase del proyecto, en la cual se construirían residencias donde se instalarían estos sistemas para el uso de familias típicas.

Los datos sobre el comportamiento de estos sistemas residenciales se comunicarían por línea telefónica a la computadora central.

Sistema Solar para Pasteurización

En este proyecto se diseñó un sistema de 50,000 pies cuadrados de colectores solares para calentar el agua a 210°F para pasteurizar alimentos en la fábrica de Nestle-Libbys en el sur de Puerto Rico. Esta utilización del calor solar economizará a la instalación 105,000 galones de aceite combustible al año.

La figura núm. 6 presenta un diagrama instrumental del proyecto.

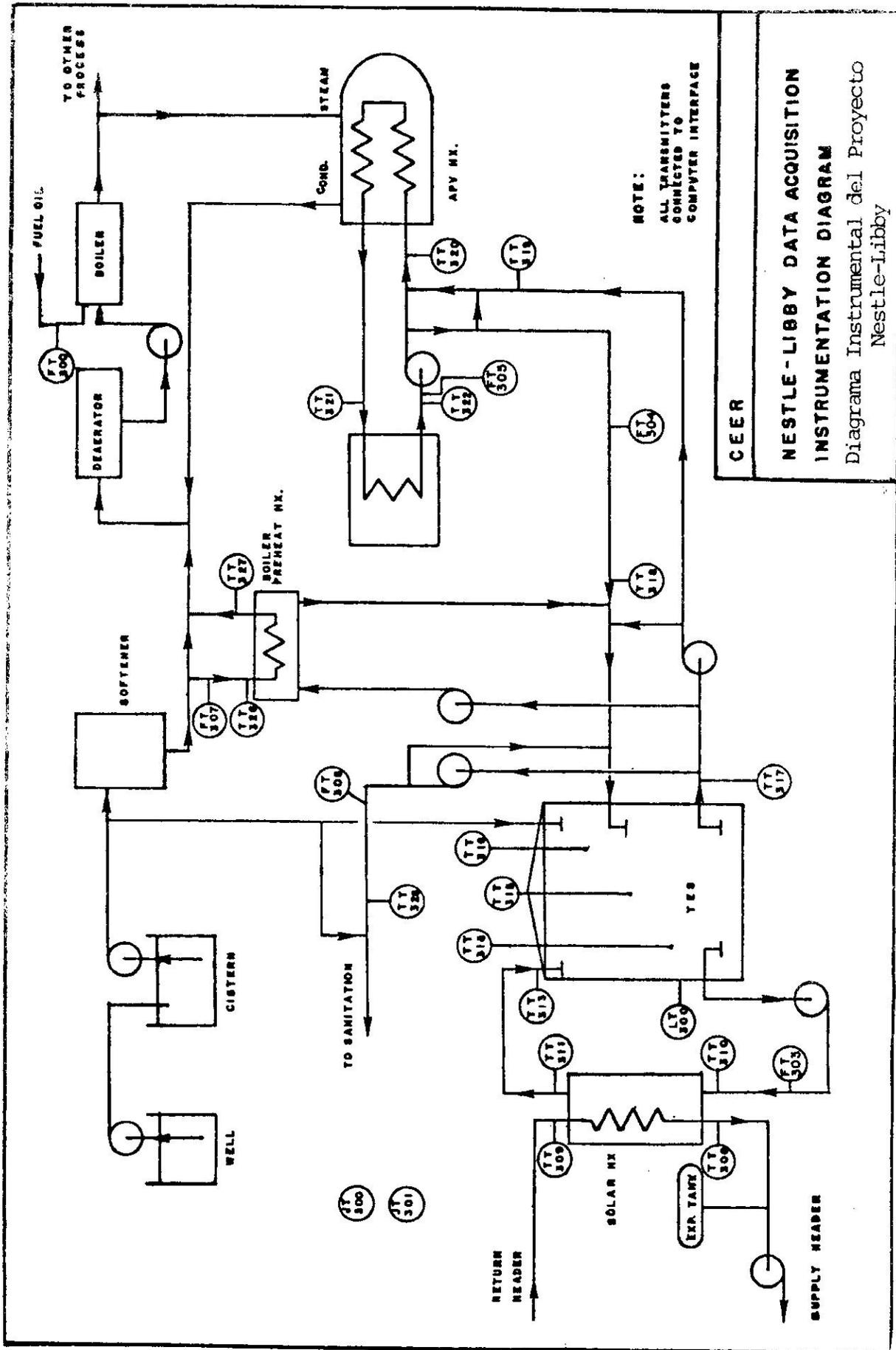
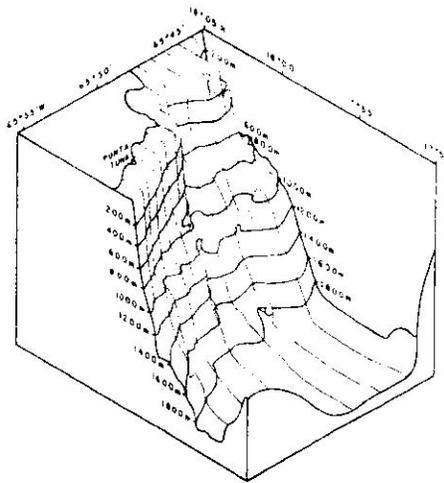


Fig. 7

Conversión de la Energía Oceano-Térmica (CEOT)

Desde el 1967 Puerto Rico empezó a estudiar la viabilidad de la conversión de la energía oceano-térmica (CEOT). El bajo costo imperante del petróleo en ese tiempo desalentó estos primeros esfuerzos.

Ultimamente el asunto ha cobrado importancia singular para Puerto Rico debido, primero, a la carestía del petróleo y segundo, estudios oceanográficos que indican que la isla cuenta con varios de los mejores lugares del mundo para el desarrollo de CEOT. Entre estos sitios, los más convenientes son Punta Tuna en la costa suroriental y Punta Vaca, en la Isla de Vieques. Ver figura número 7.



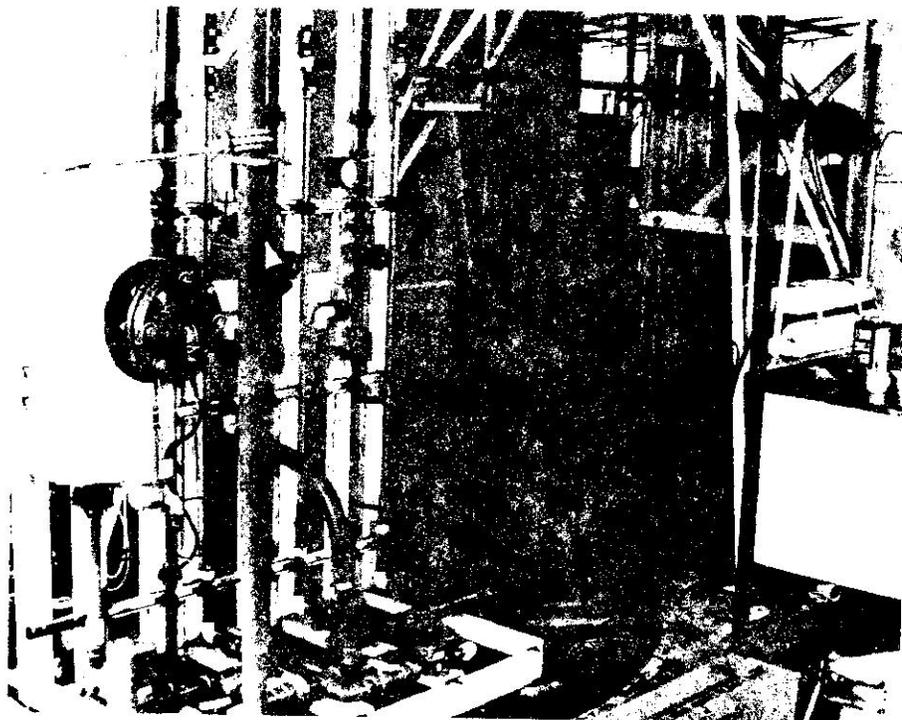
Perfil del Lecho del Océano en
Punta Tuna, al Sureste de Puerto
Rico

Fig. 7

En consecuencia, el CEEA ha apoyado la investigación y desarrollo de CEOT dentro de su programación global. Al presente se trabaja en colaboración con la Oficina de Energía de Puerto Rico--responsable del plan energético del país--, y con la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (AEE)--una corporación del gobierno interesada en el progreso del desarrollo de CEOT. La AEE ha presentado al Departamento de Energía Federal varios planes para la investigación, desarrollo y demostración que conduzcan a la construcción de una planta piloto de CEOT con una capacidad de 40 megavatios, suficientemente grande para demostrar la viabilidad de plantas de CEOT en escala comercial.

En 1978 la Junta de Energía de los Estados Unidos del Sur aprobó una resolución endosando el concepto de CEOT para Puerto Rico y subrayando la gran prioridad que esta explotación tiene tanto para los Estados Unidos continentales como para la Isla.

En 1979 un funcionario de la AEE, al deponer ante el Comité de Ciencia y Tecnología de la Cámara de Representantes de los Estados Unidos, presentó estudios que demuestran la viabilidad económica de una planta CEOT de 250 megavatios, sólo un 1.86 por ciento más cara que una planta nuclear y menos que una de carbón. El Comité aprobó asignaciones cuantiosas para el desarrollo del concepto CEOT y para la construcción de plantas de demostración. De recibir el proyecto la aprobación final, CEOT se convertirá en motivo de investigación y desarrollo intenso durante la próxima década.



Unidad Experimental para Estudiar Efectos de Biocorrosión
en Materiales para Intercambiadores de Calor de CEOT

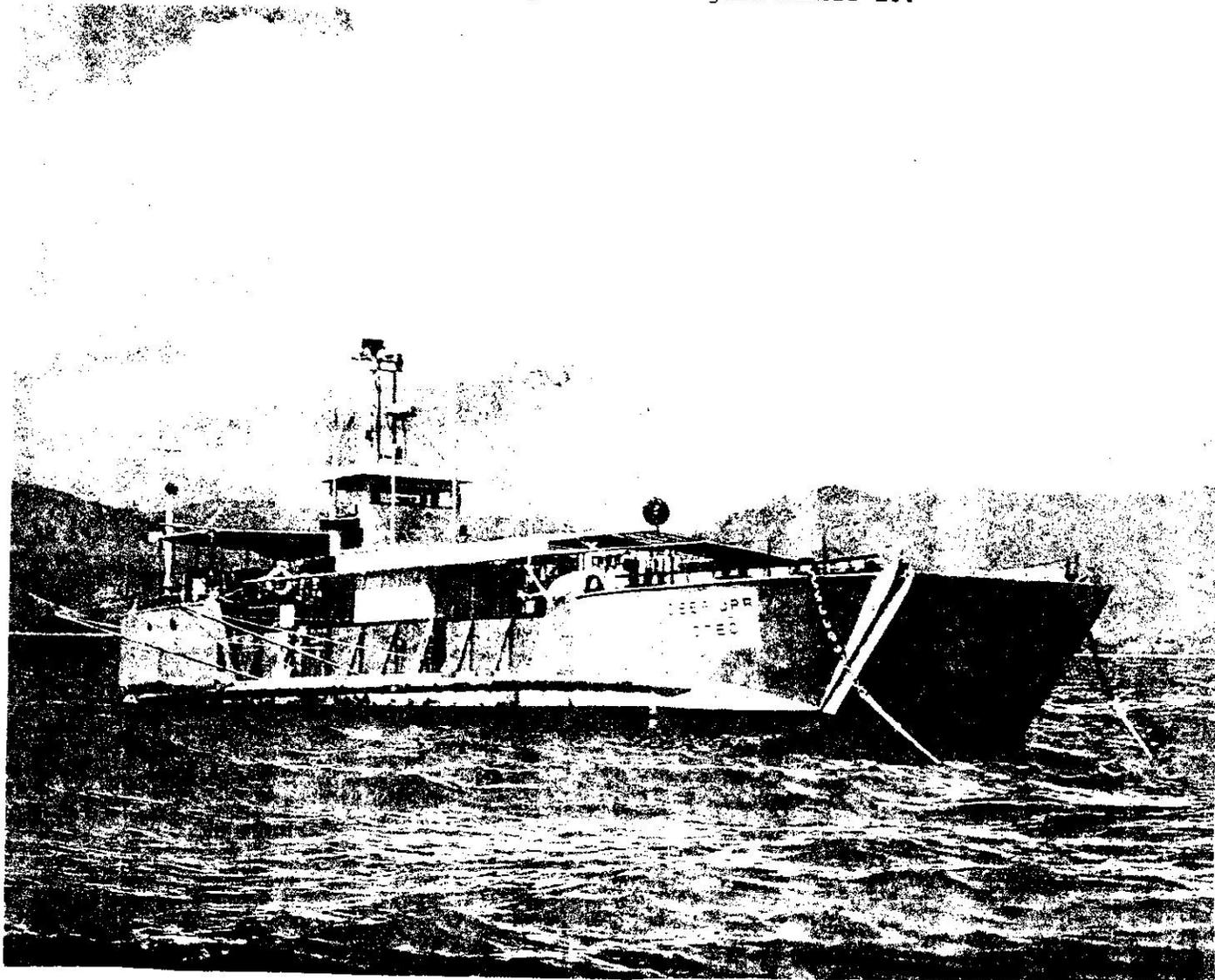
Fig. 8



Dr. Thomas Tosteson y el Sr.
Syed Inen analizando muestras
biológicas en el Laboratorio
Flotante de CEOT del CEEA

Fig. 9

Para estos estudios, la División CEOT adquirió del Departamento de la Marina de los Estados Unidos una barcaza de desembarco en desuso, la cual se modificó y amarró por más de un año en el área (Punta Tuna) donde se proyecta establecer la planta CEOT. Este es el único caso en el mundo donde se efectúan los estudios de viabilidad de una planta CEOT precisamente en el lugar donde la misma quedará ubicada y por un período tan prolongado. Ver figura número 10.



Laboratorio Flotante CEOT del CEEA

Fig. 10

Otro estudio importante llevado a cabo por la División CEOT es la exploración del concepto del ciclo de espumas. En este concepto se utiliza la expansión de la espuma al pasar de la región fría del fondo del mar a la caliente de la superficie para elevar el nivel de agua dentro de una torre y crear un potencial hidrostático utilizable por una turbina hidroeléctrica. El CEEA investigó principalmente la eficiencia y estabilidad de los materiales espumantes.



Foto de Espuma en la Columna Experimental
de CEOT

Fig. 11

El potencial que Puerto Rico y otros países de Centro y Sur América pueden esperar de estas centrales oceano-térmicas se desprende de un estudio hecho por el profesor William Heronemus de la Universidad del Estado de Massachusetts. Estimó el profesor Heronemus que en un área de 725 kilómetros de largo por 25 de ancho localizada entre los estados de Florida y Georgia pueden instalarse 4,500 centrales oceano-térmicas de tamaño comercial. Con esas centrales podría producirse dos veces la cantidad de energía eléctrica que en los Estados Unidos consume diariamente. Aunque los estudios no se han hecho aún, es de esperarse encontrar una condición similar a lo largo de las costas del Golfo de México y las de América del Sur.

Como cuestión de hecho, en el proyecto de ley mencionado anteriormente aprobado por el Comité de Ciencia y Tecnología de la Cámara de Representantes de los Estados Unidos hay una proyección para establecer no más tarde del 1990 plantas comerciales CEOT, de 500 megavatios a lo largo de las costas del Golfo de México.

Biomasa

El cultivo de "fincas energéticas" dentro de las condiciones óptimas de producción es el objetivo fundamental de la División de Biomasa del CEEA. Durante los últimos años, más de \$1,000,000 se han invertido en este objetivo.

Los estudios de biomasa se han enfocado principalmente en la producción de variedades de caña y yerbas tropicales para optimar la producción de fibra como un sustituto del combustible para calderas. En el caso de la caña se ha tratado de obtener un máximo de fibra pero también suficiente sacarosa para producir miel enriquecida, una materia prima en la industria de la fermentación que ha escaseado ultimamente en Puerto Rico.

El uso de la caña de azúcar para producir biomasa es un resultado natural de las dificultades económicas por la que atraviesa esa industria en Puerto Rico. Los estudios indican que por cada cuatro mil metros de cultivo de caña hay que invertir alrededor de \$1,200. Sin embargo, el rendimiento de ese predio no pasa de \$700. Para mantener la industria viva, el gobierno de Puerto Rico ha pagado la diferencia. La pérdida para el gobierno por los 280 kilómetros cuadrados de cultivo de caña es entre 30 y 40 millones de dólares anuales. Por otro lado, la miel producida por la industria azucarera es de sólo 4.7 millones de galones frente a una demanda de la industria del ron de 39.4 millones de galones. La diferencia, a un costo de más de \$17 millones, hay que suplirla con mieles foráneas.

Los estudios del CIEA demuestran que este cuadro de pérdidas puede nivelarse si se sembrara la caña para energía en vez de azúcar.

Según los experimentos del Dr. Alex Alexander cada tonelada de fibra seca obtenida de un cañaveral manejado para energía, en vez de

azúcar, costaría aproximadamente \$20 producirla. La energía en esta tonelada es equivalente a la contenida en dos barriles y medio de petróleo.

En términos de los costos del petróleo y las mieles para el 1979, cada cuerda de "caña energética" podría producir más de \$1,000 en energía y una cantidad aproximadamente igual en mieles ricas.

Los últimos estudios indican una productividad aún mayor a medida que se mejoran las variedades de cañas y yerbas y los métodos de operación, manejo, secado y embalado de la biomasa. Ver figura número 12.

En estos momentos se persigue la aprobación de un proyecto de demostración para producir un combustible del bagaso conocido como Agrifuel. Este proyecto lo llevaría CEEA en conjunto con la Combustion Equipment Associates.

Ciertos estudios se están haciendo también sobre la potencialidad de las plantas madereras, semiacuáticas y las productoras de hidrocarburos.

Uno de los problemas inherentes al uso de las fincas de energía es el posible desplazo de la siembra de productos alimenticios. En un país como Puerto Rico, donde la tierra cultivable es escasa, se requiere un balance delicado en la utilización de los terrenos. Este problema no es tan crítico para los grandes países de Latinoamérica. Sin embargo, en el caso de la caña energética resultados recientes indican que se producirán mayores cantidades de azúcar por cuerda que



Caña Energética de 12 Meses que Producen 88 Toneladas de Fibra Seca/Acre/Año

Fig. 12

en cultivos normales. O sea, no existe tal conflicto en este caso específico.

Ha sido un honor el tener esta oportunidad para presentar a grandes rasgos las actividades que desarrolla el Centro para Estudios Energéticos y Ambientales de la Universidad de Puerto Rico. Uno de los propósitos importantes del CEEA es el promover el acercamiento y la cooperación entre los países de habla hispana frente a los problemas que generan la escasez de energía y la contaminación ambiental. Esta presentación responde a ese objetivo y espero nos sirva de base para establecer mayores lazos de amistad y cooperación en el Caribe.