

CEER-S-080

cEeR-s

DESARROLLO DE FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA SOLAR
EN PUERTO RICO

CENTER Four Pe Ear AND

ENVIRD SS Se CEERD

READIN Le sexta

MAYAGUEZ PUEKIO RICO 00708

Juan A. Bonnet, Jr.

---Page Break---

DESARROLLO DE FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA SOLAR
EN PUERTO RICO

3. As Bonnet, Jr.

Centro para Estudios Energético y Ambiental

¿asTHACTO

Puerto Rico es una ilustración dramática de la urgente necesidad de desarrollar fuentes alternativas de energía y controles ambientales. Una Isla densamente poblada, Puerto Rico depende en un 90 por ciento del petróleo importado a un costo brutal de más de mil millones de dólares anuales. Sus problemas ambientales se encuentran generalmente a un nivel crítico. Por otro lado, la Isla es bendecida por grandes cantidades de energía solar.

En atención a estas circunstancias, la Universidad de Puerto Rico

entra en acuerdo con el Departamento de Energía de los Estados Unidos para esta

crear el Centro para Estudios Energéticos y Ambientales (CEEA) en el 1976.

EL CEEA se afana por buscar y de

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 substancias contaminantes que afectan a la sociedad modern,

desarrollar programas encaminados

EL CREA ha obtenido progresos significativos en estos aspectos. Es el propósito de este trabajo señalar los alcances de los programas que desarrolla el CEEA y analizar los logros más significativos alcanzados.

[INTRODUCCION

El Centro para Estudios Energéticos y Ambientales (CREA) 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

Energeticos de los Estados Unidos que ahora forma parte del Departamento de Energía (DOE) de la nación.

El período que va de 1976 al 1981, el Departamento de Energía habrá facilitado alrededor de 12 millones de dólares para que el CEEA pueda reclutar y capacitar al 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 meta que la Universidad se ha propuesto es desarrollar un programa sistémico de investigación que envuelva la mayoría de las facultades y recintos y el que se llevara a cabo en colaboración con otras universidades e instituciones de investigación, las agencias de gobierno federal y local, y grupos del sector privado.

Principales objetivos del CEEA

* ayudar mediante la investigación a conseguir fuentes alternativas de energía

82 Gtiles para Puerto Rico dentro de un régimen de seguridad ambiental:

---Page Break---

* ayudar @ Puerto Rico @ desarrollar científicos, ingenieros y personal técnico especializado en las áreas de energía y ambiente;

* Servir de enlace en programas de cooperación internacional en el área de energía y el ambiente, particularmente aquellos relativos a la región del Caribe y América Latina.

Para realizar dichos objetivos, el CEEA--con oficinas, equipo, laboratorios y talleres en San Juan y Mayagüez, valorados en más de 12 millones de dólares, promueve una alta calidad en la investigación; une los esfuerzos investigativos 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 el desarrollo de planes de estudios sobre la energía con el fin de consolidar los esfuerzos de la Universidad, de la industria, del gobierno y de la comunidad.

Los programas de investigación del CEFA comprenden dos áreas principales, las cuales son la energía y el ambiente. No obstante, y aunque los programas y proyectos dentro de esos dos sectores son independientes y están organizados por separado, existen estrechas relaciones de trabajo entre las distintas divisiones, de modo que cada problema es considerado en sus dos componentes, el ambiental y el energético, ya que 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 CEA es llevar a cabo proyectos de investigación y desarrollo en el campo de la energía solar teniendo en cuenta que el sol es una de las fuentes naturales más grandes con que cuenta el país.

La Isla goza de condiciones ideales para la investigación y el desarrollo solar y para la comercialización de tecnologías solares. En un área de 8610 8,800 kilómetros cuadrados existe una variedad de zonas climáticas que va desde casi el desierto hasta los bosques tropicales, todas ellas, básicamente, con un alto grado de insolación. Las estadísticas muestran que las zonas costeras del norte y Sur reciben un promedio de 2,000 kilovatios hora por metro cuadrado de insolación, lo que compara favorablemente con el suroeste de los Estados

Unidos. Constantemente se están recogiendo datos solares a través de una serie de estaciones repartidas por toda la Isla. Estos datos forman la base para el diseño y experimentación de calentadores solares de agua con fines residenciales, de acondicionadores de aire solares, de generadores de vapor industrial y para 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.

A continuación se presentan tres (3) de los principales proyectos del CEEA en el área de energía solar

colector solar para la producción de vapor industrial

la vivienda de Energía Solar del Centro para Estudios Energéticos

y Ambientales (CEEA) de la Universidad de Puerto Rico ha diseñado, construido,

y evaluado un concentrador de energía solar para la producción de vapor industrial

En un medio ambiente tropical.

---Page Break---

El concentrador consiste de una superficie reflectiva (espejo) en forma de ranja incidente a que concentra la luz en un tubo de cobre (absorbedor) donde es convertida en energía térmica y transferida 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 debidas a convección y conducción. El fluido que se lleva al calor circula en un conducto de cobre en forma de "U" soldado al absorbedor @ 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 medio ambiente tropical que es muy corrosivo. La superficie reflectiva consiste de una película de aluminio sobre sílice (reflectividad espectral de 86%), pegada @ una lámina

de flexiglass de 3m de espesor~

La forma de la superficie reflectiva no es una parábola sino una z:

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 una lente). Es "ideal"?

En el sentido de que tiene una eficiencia teórica para capturar la luz que

incide a cualquier ángulo fuera de un ángulo 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 CFEA fue diseñado para producir vapor industrial:

temperaturas entre 350 a 550°F, pero podría us
requiera temperaturas mis altas de las

La

se en otras situaciones donde se
eanzables con colectores solares pianos.

2. Anstalacién don sistena de ice acondicionado por nedio de energfa
solar en uno dé los laboratorios del CEEA

Historial

Originaluente los edificios para los laboratorios y el reactor del CEEA
fen Mayaguez suplian aire acondicionado por medio de una unidad centrifuge con ca
cigheid de 1580 kilovatios de refrigeracién, (450 toneladas) y una caldera de
529,200 Kg. Cal.

Debido a que el uso de estos edificios requiere el manejo de material radiactivo, el aire no era recirculado y de ahí, la necesidad del gran tamaño de la máquina centrífuga,

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 un sistema utilizando aire acondicionado solar.

Mediante una reciente asignación aprobada por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) se está procediendo a darle curso al proyecto de instalar un sistema solar 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.

---Page Break---

. Sistema de 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 vistas a utilizar el aire seco para dos finalidades distintas, La primera sería para mantener un ambiente seco e inalterar la temperatura ambiental (30-40°C). Su uso será 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 que en los trópicos es de considerable.

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 para lo cual se usan las facilidades disponibles en el Recinto de Mayaguez del CEA para estos menesteres.

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.

4, Conversión fotovoltaica para los trópicos

El CEEA tiene bajo estudio una tecnología de conversión de energía solar por medio de células fotovoltaicas con el fin de introducir modificaciones y adelantos que respondan a las condiciones ambientales de los trópicos.

El proyecto, Manado Utilización de Concentradores Solares Fotovoltaicos (CSF), incluye varios aspectos originales.

Primero, es un sistema energético unitario destinado a proveer energía térmica y enfriamiento al edificio y laboratorios del CEEA en Río Piedras y agua caliente al Hospital Oncológico y al Hospital Universitario de Niños ambos adyacentes al CEA, dentro del complejo médico de la ciudad de San Juan. Segundo, USCf servirá para demostrar el uso de las fotovoltaicas en los climas tropicales, particularmente en el Caribe y ciertas regiones de América Latina, donde su empleo podría resultar provechoso para enfrentarse al encarecimiento de la energía.

La batería de células fotovoltaicas del USCF tendrá una capacidad suficiente para alimentar las máquinas acondicionadoras del aire del CEEA que presentan una demanda de un suministro de refrigeración (290 toneladas) y en adición, suplir agua caliente a los hospitales.

Un aspecto interesante del sistema a implantarse podría utilizar la red eléctrica de la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico cuando haya radiación solar, o por las noches. Inversamente, cuando las fotovoltaicas generan energía que es necesaria - como por ejemplo, en domingos y días feriados - el exceso se pasa a la red eléctrica recibiendo del CEA el crédito fiscal correspondiente. En esta forma, se eliminan los acumuladores de energía, sus costos y los peligros ambientales inherentes a su uso.

antes de concluir la presentación de las actividades de la División

del CEFA, parece apropiado señalar un área donde las facilidades y el

---Page Break---

Personal de la División podrían ponerse a la disposición del Gobierno de Venezuela para la iniciación de proyectos de cooperación mutua,

La generación de vapor industrial por medios eólicos para el recobrado del petróleo mediante inyección de vapor está en vías de ponerse en práctica en ciertos campos petrolíferos de los Estados Unidos.

Esta operación requiere generadores de vapor solar con una capacidad entre 5 y 7 megavatios, la que se alcanzaría sin dificultad con la tecnología ya desarrollada y evaluada por el CEEA sin grandes inversiones en adaptaciones tecnológicas.

Cabe presumir que un estudio de viabilidad económica y técnica de esta aplicación solar en la industria petrolera de la República de Venezuela, el cual podría iniciarse de inmediato, revelaría resultados positivos de gran importancia.

Conversión de la energía oceano-térmica (CEOT)

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

Ultimamente el asunto ha cobrado importancia singular para Puerto Rico debido, primero, a la carestía prevalescente del petróleo y segundo al vectorial hallazgo oceanográfico que indica 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, justo frente a las costas de la Isla de Vieques

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 (PREPA)--una corporación del gobierno interesada en el progreso del desarrollo de CEOT, ambas se

proponen presentar al Departamento de Energía Federal un plan para la investigación, desarrollo y construcción que conduzcan a la construcción de una planta piloto de CEOT con una capacidad de 5-20 megavatios, suficientemente pequeña para demostrar la viabilidad de plantas de CEOT en escala comercial,

En una reunión celebrada en junio de 1978 en San Juan, 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 ale

Hace escasamente dos meses un funcionario de PREPA testificó ante el Comité de Ciencia y Tecnología de la Cámara de Representantes de los Estados Unidos para presentar los resultados de unos estudios que demuestran la viabilidad de una planta CEOT de 250 megavatios, solo un 1.86 por ciento más cara que una planta nuclear y menos que una de carbón. El Comité aprobó asignaciones adicionales para el desarrollo del concepto CEOT y para la implementación 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,

El concepto CEOT utiliza el diferencial de temperatura entre el agua de la superficie del mar y la del fondo a 1000 o más pies de profundidad. El diferencial, frente a la costa de Punta Tuna es aproximadamente de 20°C. Las aguas de la superficie se usan para evaporar un líquido de bajo punto de ebullición (por ejemplo, amoníaco), el trabajo de expansión, asociado a la evaporación se

-5-

---Page Break---

aplica para mover una turbina generadora. El agua fría del fondo sirve para condensar el vapor del líquido y así completar el ciclo,

La División CEOT del CEEA ha de:

Ligacin y desarrollo que 1a mantiene en el 13

Por un presupuesto anual de mis de \$700,000, la DivisiGn ha estudiade warion
tos del concepto CEOT. Entre estos a

* La corrosi3n quinic y 1a biocorrosi3n del intercambiador de calor,
gu naturaleza, variaciones estacionales y efectos sobre 12 eficiectia
© integridad del intercambiador.

Estudios oceanogr3ficos conducente:

Bente con e1 agua que 1a rodea. Estos incluyen, entre seten, Te
edici3n de las corrientes de agua y 1a bisqueda de medios pare evi~
tar los efectos adversos del agua ternalmente degradale,

#8 a asegurar una planta CEOT cons;

Estudio de los efectos ambientales de una planta CEOT.

dios se llevan a cabo en colaboracign con 1a DivisiGn de

Marina del CEEA. El principal objetivo

ecoldgica necesaria para 1lepar

generatriz CEOT.

Estos estu-

Ecología

buscar la información

al diseño adecuado de una planta

Para conducir todos estos estudios la División CEOT adquirió del Departamento de la Marina de los Estados Unidos una barcaza de desbarco en desuso a la que se modificó y ancló permanentemente en el Grea (Punta Tuna) donde se proyecta establecer la planta CEOT. Este es el único caso en el mundo donde se erige

misca quedará ubicada.

Otro estudio importante llevado a cabo por la División CEOT es la exploración del concepto del ciclo de espumas. En este concepto se ve la migración 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 aprovechar el potencial hidrostático utilizable por una turbina hidroeléctrica. El EEA evalúa principalmente la eficiencia y estabilidad de los materiales espumosos,

El potencial que Puerto Rico y otros países de Centro y Sur América

Pueden esperar de estas centrales oceano-térmicas? se i

Entre las localidades entre los estados de Florida y Georgia pueden instalarse 4,500

centrales oceano-térmicas de tamaño comercial. "Con esas centrales podríamos producir

hasta dos veces la cantidad de energía eléctrica que los Estados Unidos consumen

actualmente. Aunque los estudios no se han hecho aún, es de esperarse encontrar

condiciones similares a lo largo de las costas del Golfo de México y las de

América del Sur.

Como resultado de hecho, en el proyecto de ley mencionado anteriormente

propuesto por el Comité de Ciencia y Tecnología de la Cámara de Representantes de

los Estados Unidos hay una propuesta para establecer no más tarde de 1900 plantas

comerciales COE, de 500 megavatios @ lo largo de las costas del Golfo de México,

incas energéticas" dentro de las condiciones Sptinas

de Producción es el objetivo fundamental de 1a División de Bioease del cEone

Durante los Gltivos dos aos, as de \$1,000,000 se ha invertido en este sbyctive.

-6-

---Page Break---

Los estudios de bionasa se han enfocado principalmente en 1a producción de variedades de cata y yerbas para optimar 1a producción de {ibra como un substi tuto del cosbustible para calderas. En el caso de la caia se ha tratado de obtener un nGxino de fibra pero también suficiente sacarosa para producir miel, una materia prima en la industria de 1a fermentación que ha escaseado ultimamente en Puerto Rico,

El uso de la cafa de axticar para producir biomass es un resultado natu- ral de las dificultades econénicas por la que atraviess esa industria en Puerto Rico, Estudios recientes indican que por cada cuatro mil metros cuadrados de cul- tivo de calla hay que invertir alrededor de \$1,200. Sin embargo el rendimiento de ese predio no pasa de \$700. Para mantener 1a industria viva, el gobierno de Puerto Rico ha pagado 1a diferencia. La pérdida para el gobierno por los 280 kilémetros cuadrados de cultivo de cafa se proyecta este afo entre 30 y 40 millones de délares, Por otro lado, 1a miel producida por la industria azucarera es de sélo 4.7 sillones

de galones frente a una demanda de 1a industria de) ron de 39.4 millones de galones.

La diferencia, a un costo de \$17 millones, hay que suplirla con wíeles fordneas.

Los estudios del CEA demuestran que este cuadro de pérdidas puede nivelarse si se sexbrara la cafia para energia en vez de azGear.

Segin los experimentos de1 Dr. Alex Alexander cada tonelada de fibra seca obtenida de un cafaveral manejado para energfa, en vez de azicar, costarfa 520 producirla. La energia en esta tonelada es equivalente a la conteniéa en dos barriles y medio de petrleo,

En térmings de los costos del petrSleo y las mieles para el 1979, cada cverda de ?energética? podria producir \$1,020 en energia y una cantidad igual (© aproximadanente igual en mieles ricas.

Los Gleimos estudios inéican una productividad aGn mayor a ne ?se mejoran de las variedades de cafas y yerbas y los nétodos de opel secado y enbalado de 1a bionasa.

Por ejemplo, un reciente estudio del balance energético en la siembra de caña para energía demuestra que se produce 9.9 veces más de energía que la que se gasta en toda la operación, y que esta proporción podrá ser mejorada en el futuro.

En estos momentos se persigue la aprobación de un proyecto de demostración para reactivar una central azucarera en desuso, capaz de manejar un millón de kilogramos de biomasa diarios a fin de determinar la logística de la producción, secado, transportación, almacenamiento y quema de la biomasa y estudiar la naturaleza de los contaminantes y gases de combustión.

Ciertos estudios se están haciendo en las plantas madereras, semiindustriales

jendo también sobre la potencialidad de
y las productoras de hidrocarburos.

Uno de los problemas inherentes al uso de las fincas de energía es el
posible desplazamiento 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,

---Page Break---

Ha sido un honor utilizar esta oportunidad para presentar a grandes
rasgos las actividades que desarrolla el Centro para Estudios Energéticos y Ambiente
de la Universidad de Puerto Rico. Uno de los propósitos importantes del CEEA
es 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.

---Page Break---