

REVISTA ENERGETICA ENERGY MAGAZINE



ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA LATIN AMERICAN ENERGY ORGANIZATION

LA SITUACION ENERGETICA DE AMERICA LATINA – 1986

THE LATIN AMERICAN ENERGY SITUATION – 1986

OLADE:

Permanent Secretariat

ENERGIA Y BIOMASA

ENERGY AND BIOMASSA

Juan Antonio Guzmán M.

ESTANDARIZACION DE TURBINAS HIDRAULICAS
TIPO MICHELL BANKI PARA SER USADAS EN
PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS

STANDARDIZATION OF HYDRAULIC TURBINES
OF THE MICHELL-BANKI TYPE, FOR USE IN
SMALL HYDROPOWER STATIONS

*Hydroenergy and Electricity Program
Technical Department OLADE*

AÑO 10 No. 3 DICIEMBRE 1986

YEAR 10 No. 3 DECEMBER 1986

The **Energy Magazine** is published once every four months by the Permanent Secretariat of the Latin American Energy Organization (OLADE).

The signed articles are the sole responsibility of their authors and do not necessarily reflect the official position of the Permanent Secretariat or of the Member Countries.

Articles, contributions, and correspondence concerning the **Energy Magazine** should be addressed to Ernesto Camacho, Editor, P.O. Box 6413 C.C.I., Quito, Ecuador.

LATIN AMERICAN ENERGY ORGANIZATION

MARCIO NUNES
EXECUTIVE SECRETARY

ERNESTO CAMACHO
MASS MEDIA DIRECTOR

BARBARA SIPE
TRANSLATOR

La **Revista Energética** es publicada cuatrimestralmente por la Secretaría Permanente de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

Los artículos firmados son de responsabilidad exclusiva de sus autores y no expresan, necesariamente, la posición oficial de la Secretaría Permanente o de los Países Miembros.

Artículos, contribuciones y correspondencia relativa a la **Revista Energética** deben ser enviados a Ernesto Camacho, Editor, Casilla de Correos 6413 C.C.I., Quito, Ecuador.

**ORGANIZACION
LATINOAMERICANA DE ENERGIA**

MARCIO NUNES
SECRETARIO EJECUTIVO

ERNESTO CAMACHO
DIRECTOR DE COMUNICACION SOCIAL

BARBARA SIPE
TRADUCTORA

REVISTA ENERGETICA

ENERGY MAGAZINE

Year 10, Number 3 **December, 1986**
September - October - November - December
1986

EDITORIAL	6
THE LATIN AMERICAN ENERGY SITUATION - 1986	8
ENERGY AND BIOMASS	18
STANDARDIZATION OF HYDRAULIC TURBINES OF THE MICHELL-BANKI TYPE, FOR USE IN SMALL HDROPOWER STATIONS	62

REVISTA ENERGETICA

ENERGY MAGAZINE

Año 10, Número 3 **Diciembre, 1986.**
Septiembre - Octubre - Noviembre - Diciembre
1986

EDITORIAL	7
LA SITUACION ENERGETICA DE AMERICA LATINA - 1986	9
ENERGIA Y BIOMASA	19
ESTANDARIZACION DE TURBINAS HIDRAULICAS TIPO MICHELL BANKI PARA SER USADAS EN PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS	63

EDITORIAL

It has been considered worthwhile to begin this third issue of the ENERGY MAGAZINE with the Executive Summary of the annual report on the Latin American energy situation published by the Permanent Secretariat of OLADE, for it offers a concise picture of the general evolution of the energy sector, and of the principal events occurring therein.

Within this panorama, special note should be made of the plunge in oil prices as of the last quarter of the year, which, once again, attracted world attention to the instability of oil markets and its profound implications.

Despite the gradual increase in the incorporation of new and renewable sources of energy into the Latin American energy balance, these in many cases continue to show a low level of use.

Thus, this issue of the ENERGY MAGAZINE includes two articles related to such sources. The first highlights the advantages of using a form of energy which is of easy and widespread availability in the developing countries, i.e., biomass. The second, related to standardization of cross-flow turbines for use in small hydropower stations, presents an important alternative for providing remote or isolated areas with an energy supply of their own, at the same time permitting the regional energy industry to make strides forward towards greater technological autonomy.

ERNESTO CAMACHO

EDITORIAL

Se consideró conveniente iniciar este tercer número de la REVISTA ENERGETICA con el Resumen Ejecutivo del informe anual de la Situación Energética de América Latina, publicado por la Secretaría Permanente de OLADE, en el que se ofrece en forma sintética una visión de la evolución general y de los principales sucesos acontecidos en el sector energético.

Dentro de ese panorama, se destacó la marcada caída que los precios del petróleo experimentaron a partir del último trimestre del año, lo que una vez más atrajo la atención mundial hacia la inestabilidad de los mercados del petróleo y sus profundas implicaciones.

A pesar del paulatino incremento que muestra la incorporación de las fuentes nuevas y renovables de energía al balance energético latinoamericano, éstas aún continúan mostrando un bajo nivel de utilización en muchos casos.

Por ello, en este número de la REVISTA ENERGETICA hemos incluido dos artículos relativos a dichas fuentes. El primero, resalta las ventajas de utilizar un energético de fácil y amplio alcance en los países en desarrollo, la biomasa. El segundo, relativo a la estandarización de las turbinas de flujo transversal para pequeñas centrales hidroeléctricas, muestra una importante alternativa para brindar a zonas remotas o aisladas un suministro de energía propia, que permite al mismo tiempo a la industria energética regional avanzar hacia una mayor autonomía tecnológica.

ERNESTO CAMACHO

THE LATIN AMERICAN ENERGY SITUATION - 1986 *

Permanent Secretariat

1. THE ECONOMIC CONTEXT

In 1985 the world economy did not show the signs of recovery which had been expected following the level of growth attained in 1984. The weakening of the nominal value of international trade and the decline in the growth index of the United States economy were factors which had an unfavorable impact on international economic evolution.

In this context, Latin America's gross domestic product experienced a growth rate of 3.5%; however, thirteen of the twenty-six OLADE Member Countries registered reductions in their per capita GDP.

The decline, in many cases the drastic decline, in the prices of 15 of Latin America's 17 major export commodities, has had a negative impact on the regional economy, owing to the lower foreign exchange earnings under this item.

In contrast, the region continued to be a capital exporter, making a net transfer of resources (capital flow minus payment of interests and earnings) of nearly 100 billion United States dollars during 1982-1985.

The problem of the external debt continued to be a disturbing element for regional economic growth, due to its magnitude and to the adjustment programs adopted at the national level for its payment.

* Executive summary of the document prepared by the Permanent Secretariat and approved by the XVII Meeting of Ministers of OLADE (Buenos Aires, Argentina, November 1986).

LA SITUACION ENERGETICA DE AMERICA LATINA - 1986 *

Secretaría Permanente

1. CONTEXTO ECONOMICO

La economía mundial no mostró, en 1985, los síntomas de reactivación esperados, luego del nivel de crecimiento alcanzado en 1984. El debilitamiento del valor nominal del comercio internacional y la baja del índice de crecimiento de la economía estadounidense fueron factores que incidieron desfavorablemente en la evolución económica internacional.

En este contexto, América Latina experimentó una tasa de crecimiento de 3,5% en su producto interno bruto; sin embargo, se registraron reducciones del PIB per cápita en trece de los veinte y seis Países Miembros de OLADE.

La caída, en muchos casos drástica, de los precios de quince de los diecisiete principales productos latinoamericanos de exportación, ha impactado negativamente la economía regional, por el menor ingreso de divisas por este concepto.

En contraste, la Región continuó siendo exportadora de capitales, realizando una transferencia neta de recursos (entrada de capitales menos pago de utilidades e intereses), durante el cuatrienio 1982-1985, cercana a los 100.000 millones de dólares norteamericanos.

El problema de la deuda externa continúa siendo un elemento perturbador para el crecimiento económico regional, debido a su elevada cuantía y a los programas de ajuste adoptados a nivel nacional para hacer frente a su pago.

* Resumen Ejecutivo del documento elaborado en la Secretaría Permanente y aprobado por la XVII Reunión de Ministros de OLADE (Buenos Aires, Argentina, noviembre de 1986).

Under these circumstances, the economic panorama for Latin America finds itself at a crossroads in which the problem of the debt and the imbalance existing in the terms of international trade, aggravated by the increasingly more unfair protectionist practices adopted by the industrialized countries, work against the attempts at economic expansion which are most closely tied to the real social needs and interests of the countries of the region.

2. INTERNATIONAL ENERGY BEHAVIOR

The deceleration of the growth in the international economy, together with the uncertainty on the oil market, contributed to stagnation in the consumption of this form of energy, which was one of the elements that characterized international energy behavior in 1985. The rate of penetration of coal, natural gas and hydroelectricity continued, thus confirming the energy diversification begun in the search for less reliance on oil.

Energy diversification activities, combined with effective programs of efficient energy use, motivated a change in the management of the world oil market, to such an extent that the OPEC found itself obliged to abandon its traditional strategy of maintaining the official prices of its crude oil in order to seek a firmer participation in the market.

This shift brought about a sharp drop in international oil prices, with a consequent impact on the international community, the ultimate results of which are still not apparent.

3. THE LATIN AMERICAN ENERGY SECTOR

The happenings on the international scene summarized above held negative repercussions for the Latin American economy, and, because of the interrelationship that the group of macroeconomic variables still has with the energy sector, affected the dynamism of the latter, leading to stagnation in the levels of primary energy production and final energy consumption.

The development outlook for the energy sector worsened still further because the decline in oil exports and the decrease in investments and capital flows from abroad hindered the few possibilities for sectoral expansion which existed.

3.1. Behavior

In comparison with the figures for 1984, the volume of energy reserves showed a slight reduction at the end of 1985.

En estas circunstancias, el panorama económico de América Latina se encuentra en una encrucijada, en la que el problema de la deuda y el desequilibrio existente en los términos del comercio internacional, agravado por las cada vez más injustas prácticas proteccionistas adoptadas por los países industrializados, vulneran los intentos de expansión económica apoyados a las necesidades reales y a los intereses sociales de los países de la Región.

2. COMPORTAMIENTO INTERNACIONAL DE LA ENERGIA

La desaceleración del crecimiento de la economía internacional, junto con la incertidumbre del mercado petrolero, coadyuvaron al estancamiento del consumo de este energético, que fue uno de los elementos característicos del comportamiento energético internacional, en 1985. El carbón, el gas natural y la hidroelectricidad continuaron con su ritmo de penetración, confirmando la diversificación energética iniciada en busca de una menor dependencia del petróleo.

Las acciones de diversificación energética, combinadas con efectivos programas de uso eficiente de la energía, motivaron un cambio en el manejo del mercado mundial del petróleo, a tal punto que la OPEP se vio forzada a abandonar su estrategia tradicional de mantenimiento de los precios oficiales de sus crudos, para buscar una participación más firme en el mercado.

Este giro desencadenó una vertiginosa caída de los precios internacionales del petróleo, que impactó la comunidad internacional, de la cual aún no se ven los últimos resultados.

3. EL SECTOR ENERGETICO EN AMERICA LATINA

Los acontecimientos internacionales reseñados repercutieron desfavorablemente en la economía latinoamericana, y por la vía de la interrelación que el conjunto de variables macroeconómicas tiene con el sector energético, incidieron sobre el dinamismo de éste, provocando un estancamiento en los niveles de la producción primaria y del consumo final de la energía.

Las perspectivas de desarrollo del sector energético regional se agravaron aún más porque el descenso de las exportaciones de petróleo, y la caída de las inversiones y flujos externos de capital, frenaron las pocas posibilidades de expansión sectorial existentes.

3.1. Comportamiento

Comparativamente con los registros obtenidos en 1984, el volumen de reservas de energía, a fines de 1985, mostró una ligera disminución.

As for primary energy production, the slight decline experienced by oil production and the inconsistency in the firewood production figures were nevertheless compensated for by the increases in the production of coal, hydroelectricity and natural gas, once again confirming the gradual process of energy diversification begun in the region.

For its part, final energy consumption maintained a stable level due, among other things, to the efforts made by some countries to implement more realistic pricing policies and to implant programs of efficient energy use.

No matter how difficult it proves to quantify the real impact of these actions in final energy consumption at the regional level, as well as the interrelationship with economic behavior, it seems evident that a transitional process toward a stage in which the one-on-one relations between economic and energy behavior, seen until the recent past, has already gotten underway in Latin America also.

Regional energy trade, dominated by oil, saw a significant decline both in terms of the volumes exported and those imported, thus confirming the efforts of the oil-importing countries to achieve less dependence on hydrocarbons and a smaller oil-bill impact on their economies. The opening up of coal exports points toward a gradual diversification of international energy trade in the region.

3.2. Repercussions

The situation of disequilibrium seen between international crude oil supply and demand, and its repercussions on oil prices, had an unfavorable impact on the dynamics of the region's oil industry. Risk capital began to decrease in some countries, generating uncertainty as to the medium- and long-range exploration goals; and this could affect the budgeting of foreign exchange earnings from oil exports.

Although at first sight the beneficiaries of the oil market situation would seem to be the importing countries, the collateral effects of this situation will have an impact on other energy alternatives which, in terms of cost, would be relatively competitive.

As for electric power, in most of the national public utilities, acute financial problems have arisen which, due to deterioration in their rates and tariffs, do not allow them to fully implement their plans for expansion and meet the financial commitments they have made, particularly with international banks.

En lo que corresponde a la producción de energía primaria, la ligera baja experimentada en la producción de petróleo, y la inconsistencia en los registros de producción de leña, se vieron compensados por los incrementos en la producción de carbón, gas natural e hidroelectricidad, confirmando el proceso gradual de diversificación energética iniciado en la Región.

Por su parte, el consumo final de energía mantuvo un nivel estable, debido, entre otras causas, a los esfuerzos realizados por algunos países en la instrumentación de políticas de precios más realistas, y en la implantación de programas de uso eficiente de la energía.

A pesar de lo difícil que resulta cuantificar el impacto real de estas acciones en el consumo final de energía a nivel regional, así como su interrelación con el comportamiento económico, parece evidente que también en América Latina se empezó a procesar la transición hacia una etapa, en la cual ya no tendrán absoluta vigencia las relaciones biunívocas, verificadas hasta el pasado inmediato, entre los comportamientos económico y energético.

El comercio regional de energéticos, dominado por el petróleo, contabilizó un descenso significativo, tanto en los volúmenes exportados, como en los importados, confirmando los esfuerzos de los países importadores por lograr una menor dependencia de los hidrocarburos, y un menor impacto de la factura petrolera sobre sus economías. La apertura de las exportaciones de carbón apunta hacia una gradual diversificación del comercio internacional de energía en la Región.

3.2. Repercusiones

La situación de desequilibrio que se evidenció entre la oferta y la demanda internacional de crudo, y su repercusión sobre los precios del petróleo, incidió desfavorablemente sobre la dinámica de la industria petrolera de la Región. Los capitales de riesgo empezaron a disminuir en algunos países, generando incertidumbre sobre las metas exploratorias de mediano y largo plazo, lo que podría incidir sobre sus presupuestos de divisas por concepto de exportaciones petroleras.

Aunque a primera vista los beneficiarios de la situación del mercado petrolero serían los países importadores, los efectos colaterales de esta coyuntura impactarán otras alternativas energéticas que, en términos de costo, ofrecían una relativa competitividad.

En materia eléctrica, en la mayoría de las empresas estatales nacionales, se han generado agudos problemas financieros que les imposibilitan, por el deterioro de sus tarifas, cumplir íntegramente sus planes de expansión previstos, y con los compromisos financieros contraídos, en particular con la banca internacional.

Given the foregoing, the energy sector continues to face a reduction in investments which limits the efforts undertaken in the search for greater knowledge about, and utilization of, potential resources; the possibilities for energy expansion and substitution; and the implantation of programs geared to more efficient energy use.

3.3. Outlook

The economic situation in the international context will tend to sharpen if the economic behavior of the OECD member countries does not recover sustained higher indexes of growth. The decline in international oil prices does not constitute a factor necessary or sufficient in itself for economic recovery; the instability of the dollar on currency exchange markets and the fiscal and commercial imbalances in the United States also play an important role in this process.

Hence, Latin America will continue to experience difficulties in returning to the growth rates of past decades, and the social unrest already observed in most of the countries will increase.

The energy profile, atypical due to the sudden drop in oil prices, will be dominated by a slight increase in the production and international trade of this form of energy, by a reduction in investments in the sector, and by deterioration in the competitiveness of other sources of energy.

4. CONSIDERATIONS

The years 1985 and, particularly, 1986 seem to mark the beginning of a diametrical change in oil market behavior.

The predominant share of hydrocarbons in the regional energy balance reflects the still large degree of Latin America's vulnerability and sensitivity to changes in the price of this resource, despite the efforts made thus far to diversify the energy mix.

In this context, and taking various proposals made in the 1986 report on the Latin American energy situation, several lines of action are put forward for consideration by the OLADE Member Countries, in order to propitiate their analysis and discussion, for the purpose of defining concrete projects which would allow the situation through which regional energy sector development is passing to be surmounted:

Por lo anterior, el sector energético continúa enfrentando una reducción de inversiones que limita los esfuerzos emprendidos en procura de un mayor conocimiento y aprovechamiento de los recursos potenciales, las posibilidades de expansión de fuentes y sustitución de energéticos, y la implantación de programas encaminados hacia un uso más eficiente de la energía.

3.3 Perspectivas

La situación económica en el contexto internacional tenderá a agudizarse si el comportamiento de la economía de los países miembros de la OCDE no recobra mayores índices de crecimiento de una forma sostenida. La baja de los precios internacionales del petróleo no constituye un factor necesario ni suficiente para la reactivación económica; la inestabilidad del dólar en los mercados de divisas y los desequilibrios fiscal y comercial de los Estados Unidos de Norteamérica juegan un papel importante en ese proceso.

En este orden de ideas, América Latina seguirá experimentando dificultades para volver a crecer a las mismas tasas de las décadas anteriores, multiplicándose los factores de malestar social que se observan en la mayoría de los países.

El perfil energético, atípico por la caída inusitada de los precios del petróleo, estará dominado por un pequeño crecimiento de la producción y del consumo internacional de este energético, por la reducción de inversiones en el sector y por el deterioro competitivo de otras fuentes de energía.

4. CONSIDERACIONES

1985, y particularmente 1986, parecen marcar el inicio de un cambio diametral en el comportamiento del mercado petrolero.

La participación predominante de los hidrocarburos en el balance energético regional, denota el todavía alto grado de vulnerabilidad y sensibilidad de América Latina ante los cambios del precio de este recurso, a pesar de los esfuerzos realizados hasta hoy para diversificar este esquema energético.

En este contexto, y recogiendo los diversos planteamientos consignados en el informe 1986 del documento Situación Energética de América Latina, se ponen a consideración de los Países Miembros de OLADE algunas líneas de acción, que parece necesario adoptar, con el propósito de propiciar su análisis y discusión, para definir proyectos concretos que permitan superar la coyuntura por la que atraviesa el desarrollo del sector energético regional:

- To have an intensive exchange of national experiences in the area of conservation and efficient use of energy, so as to have adequate knowledge about the results already attained and thus facilitate the definition of strategies and programs more in keeping with the reality of each country;
- To accelerate the preparation and implementation of integral programs of conservation and efficient use of energy, initially in the sectors which are the most intensive and/or inefficient in their use of energy, which will make it possible to reduce the need for future financial investments in order to meet the energy demand;
- To make efforts to have international financial organizations give preferential treatment to funding for regional energy infrastructure, in line with the current economic and social circumstances of Latin America;
- To promote the consolidation of regional energy self-sufficiency, through bilateral agreements guaranteeing the supply of oil and of other forms of energy under conditions no worse than those prevailing on the corresponding international markets; and
- To intensify the actions of intra-regional enterprises, in order to identify energy sector projects which could be developed with the technical and financial participation of several countries, assuring participation in accordance with the possibilities and potential of each one of the parties, and at the same time reducing the need for new resources from outside the region.

In light of the magnitude and complexity of the problems which the regional energy sector is facing, today the need to reinforce the mechanisms of cooperation and integration as one means of solution becomes still more evident.

Under the current circumstances, it is imperative for the OLADE Member Countries to find political expression in actions which will promote energy cooperation and integration in Latin America.

- Realizar un intenso intercambio de experiencias nacionales en materia de conservación y uso eficiente de la energía, para tener un adecuado conocimiento de los resultados ya alcanzados, lo que facilitará la definición de las estrategias y programas más acordes con la realidad de cada país;
- Acelerar la elaboración e implantación de programas integrales de conservación y uso eficiente de la energía, inicialmente en los sectores de uso más intensivo y/o ineficiente, lo que permitirá reducir la necesidad de futuras inversiones financieras para atender la demanda energética;
- Gestionar, junto a los organismos financieros internacionales, un tratamiento preferencial para el financiamiento de la infraestructura energética regional, acorde con las actuales circunstancias económicas y sociales por las que atraviesa América Latina;
- Promover la consolidación del autoabastecimiento energético regional, a través de la realización de acuerdos bilaterales que garanticen el suministro de petróleo y de otros energéticos, en condiciones no inferiores a las vigentes en los correspondientes mercados internacionales;
- Intensificar las acciones de las empresas regionales, con el objeto de identificar proyectos en el sector energético que puedan ser desarrollados con la participación técnico-financiera de varios países, garantizando una participación acorde con las posibilidades y potencialidades de cada una de las partes, al mismo tiempo que disminuyendo las necesidades de nuevos recursos externos a la Región.

Ante la magnitud y complejidad de los problemas que encara el sector energético regional, hoy se hace aún más evidente la necesidad de fortalecer los mecanismos de cooperación e integración, como uno de los medios para su solución.

En las actuales circunstancias, es imprescindible concretar la manifestación política de los Países Miembros de OLADE en acciones que promuevan la cooperación e integración energética en América Latina.

ENERGY AND BIOMASS

Juan Antonio Cuzman M., Ph.D. 1/

1. INTRODUCTION

The present paper will focus on the study of bioenergy, with special emphasis on the analysis of biomass production. First of all, an effort will be made to provide an overview of energy resources before examining biomass in particular further on.

Generally speaking, it can be said that energy is a state or form of matter. The fact that there is an exchange between matter and energy is quite well known; this was discovered at the beginning of this century and constitutes the basis of modern physics.

There are three real sources of energy on Earth: solar energy, nuclear energy and geothermal energy. All the other sources of energy, whether conventional or non-conventional, in some way or another have their origin in one of these three.

In terms of volume, the resources are extraordinarily voluminous, and it may be affirmed that the amount of energy resources to be had on the planet Earth far surpasses what is really needed. It has been estimated (Garcia and Losada, 1983) that the energy delivered by the sun alone is around 3×10^{21} KJ, while humanity's energy consumption is on the order of 3×10^{17} . From the foregoing it can be discerned that the "energy crisis" is no such thing, but instead a price crisis, i.e., specific energy resources are not available in the amounts and at the prices desired. As normally understood by the everyday consumer, the energy crisis refers to the cost of electricity or gasoline; however, the

1/ Catholic University of Chile.

ENERGIA Y BIOMASA

Juan Antonio Guzmán M., Ph.D. 1/

1. INTRODUCCION

El presente trabajo se centrará en el estudio de la Bioenergía, analizando con especial énfasis la producción de biomasa. Se intentará primeramente, dar un panorama global de recursos energéticos, para posteriormente estudiar en particular la biomasa.

En forma general, se puede decir que la energía es un estado o forma de la materia. Es bastante conocido el hecho que existe un intercambio entre materia y energía, que fue descubierto a principios de siglo, el cual constituye la base de la física moderna.

Las fuentes reales de energía en la Tierra son tres: energía solar, energía nuclear y energía geotérmica. Todas las demás fuentes de energía, tanto convencionales como no convencionales, tienen de alguna u otra forma su origen en algunas de las tres anteriores mencionadas.

Los recursos, en términos de volumen, son extraordinariamente grandes, pudiendo afirmarse que la cantidad de recursos energéticos que dispone la Tierra como planeta, va mucho más allá de lo que realmente necesita, habiéndose estimado (García y Losada, 1983) que sólo la energía entregada por el sol es de alrededor de 3×10^{21} KJ/año, siendo el consumo de energía de la humanidad del orden de 3×10^{17} KJ. De lo anterior se desprende que la crisis de energía no es tal, sino que es una crisis de precios, es decir, no se dispone de los recursos energéticos específicos en la cantidad y precio deseado. La crisis de energía entendida por el usuario común se refiere normalmente al costo de la electricidad o la gasolina, sin embargo, nunca se hace el cálculo del

1/ Universidad Católica de Chile

equivalent cost of placing a kilo of coal in the tank of a car is never calculated since it is technically impossible with current technology. In general terms, the energy crisis is nothing more than a crisis of supply and demand which is regulated by prices and which comes about due to the direct correlation existing between living standards and energy use, as can be seen in Table 1, showing per capita and overall energy consumption in various countries.

2. ENERGY RESOURCES

Taking into consideration the growing energy demand, as a consequence of the pursuit of a higher standard of living, it is evident that this greater demand will be a determining factor in the supply of energy resources over time. Thus, throughout the history of humanity, the amount and type of energy resources used have varied considerably: from the use of fire and animal traction in the most primitive communities to the use of nuclear power in our time.

Energy resources can be classified into conventional and non-conventional categories, but this classification will obviously be arbitrary, and a function of time.

One conventional energy resource in Europe in the XVIII Century was wood, which came to constitute around 50 to 60% of the total energy used; however, today it constitutes less than 1%. Hence, what in one period of history was conventional ceases to be so at another point in time. Consequently, the energy resources which are nowadays mentioned as "conventional" will naturally have a certain lifetime, depending basically on supply and demand. The equilibrium will be regulated by the prices of the different forms of energy, which will essentially be variable over time, according to availability.

The current conventional resources are mainly oil, natural gas, coal, hydroelectricity, nuclear energy, and firewood and its derivatives.

On analyzing the primary resources or real sources of energy, it can clearly be seen that solar energy is the principal agent of the resources in question. Oil, natural gas and coal have their origin in vegetable and/or animal matter which has been fossilized over time, under certain pressure and temperature conditions, their origin being first solar energy, through photosynthesis. The same thing occurs with firewood and its derivatives which are recent resources originating in biomass. Hydroelectricity is a consequence of a phenomenon consisting of taking water from low levels to high levels by means of climatic phenomena which are directly related to the energy delivered by the sun and to the evaporation of large bodies of water. Only

costo equivalente de poner un kilo de carbón en el estanque del automóvil, ya que técnicamente, con la tecnología disponible, ello no es posible. En términos generales, la crisis de energía no es más que una crisis de oferta y demanda regulada por los precios, la que se origina debido a la correlación directa que existe entre el estandard de vida y el uso de la energía, la que se puede apreciar en la Tabla 1, donde se muestran los consumos de energía per cápita y global de diferentes países.

2. LOS RECURSOS ENERGETICOS

Teniendo en consideración la demanda creciente de la energía, como una consecuencia de la búsqueda de un mejor estandard de vida, resulta obvio que esta mayor demanda será determinante en la oferta de recursos energéticos en el tiempo. Es así como, a lo largo de la historia de la humanidad, la cantidad y tipo de recursos energéticos utilizados han variado considerablemente, desde el uso del fuego y la tracción animal en las comunidades más primitivas hasta el uso de la energía nuclear en nuestros días.

Los recursos energéticos serán clasificados en convencionales y no convencionales, clasificación que obviamente será arbitraria y función del tiempo.

Un recurso energético convencional en Europa, en el siglo XVIII era la madera, que llegó a constituir alrededor de un 50 a 60 % del total de la energía utilizada, sin embargo, hoy en día constituye menos del 1%, de tal manera, que lo que en un momento histórico fue convencional, en otro deja de serlo. Por consiguiente, los recursos energéticos que se mencionarán hoy en día como convencionales, tienen naturalmente un cierto plazo de vigencia, que dependerá básicamente de la oferta y la demanda. El equilibrio estará regulado por los precios de los diferentes energéticos, los que serán esencialmente variables en el tiempo según su disponibilidad.

Los recursos energéticos convencionales actuales son principalmente el petróleo, el gas natural, el carbón, la hidroelectricidad, la energía nuclear, y la leña y derivados.

Al analizar los recursos primarios o fuentes reales de energía, se puede apreciar claramente que la energía solar es la principal responsable de los recursos señalados. Tanto el petróleo, el gas natural, como el carbón, tienen su origen en materias de origen vegetal y/o animal, que han sido fosilizados en el tiempo, y bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, siendo su origen primero la energía solar a través de la fotosíntesis. Lo mismo ocurre con la leña y derivados, que son recursos recientes provenientes de la biomasa. La hidroelectricidad es consecuencia de un fenómeno consistente en llevar las aguas de niveles bajos a niveles altos a través de los fenómenos climáticos, que están directamente relacionados con la energía entregada por el sol y con la evaporación de las grandes masas de

TABLE 1
OVERALL AND PER CAPITA ENERGY CONSUMPTION IN SOME COUNTRIES

	Overall energy consumption (thousands of barrels of oil equivalent/day) 1979	Per capita energy consumption (barrels of oil equivalent/ inhabitant) 1979
ARGENTINA	695	0.0260
AUSTRALIA	1,299	0.0901
BRAZIL	1,259	0.0106
CANADA	3,441	0.1453
CHILE	171	0.0157
FINLAND	367	0.0771
FRANCE	3,711	0.0694
ITALY	2,662	0.0458
JAPAN	6,676	0.0576
PERU	122	0.0071
PORTUGAL	186	0.0188
SINGAPORE	181	0.0767
SOUTH AFRICA	1,055	0.0370
U.S.S.R.	20,311	0.0772
U.K.	4,514	0.0808
U.S.A.	35,390	0.1594
WEST GERMANY	5,854	0.0954

Source: Liscom, 1982

TABLA 1
CONSUMO ENERGETICO Y PER CAPITA PARA ALGUNOS PAISES

	Consumo global de energía (miles de barriles equivalentes de petróleo/día) 1979	Consumo per cápita de energía (barriles de petróleo equivalente/habitante) 1979
ALEMANIA FEDERAL	5.854	0.0954
ARGENTINA	695	0.0260
AUSTRALIA	1.299	0.0901
BRASIL	1.259	0.0106
CANADA	3.441	0.1453
CHILE	171	0.0157
ESTADOS UNIDOS	35.390	0.1594
FINLANDIA	367	0.0771
FRANCIA	3.711	0.0694
ITALIA	2.662	0.0458
JAPON	6.676	0.0576
PERU	122	0.0071
PORTUGAL	186	0.0188
SINGAPUR	181	0.0767
SUDAFRICA	1.055	0.0370
REINO UNIDO	4.514	0.0808
U.R.S.S.	20.311	0.0772

Fuente: Liscom, 1982

nuclear energy does not have its origin in solar energy and, naturally, corresponds to the energy inherent in the matter itself.

Oil, natural gas and coal are the fundamental basis for the energy mix used by the developed countries, constituting on the order of 80% of the total. Hydroelectricity, firewood and its derivatives and nuclear energy are proportionately of less importance. In the developing countries, the situation is inverse. Countries such as India, China, and most African and Southeast Asian countries use firewood and its derivatives as the main source of energy both for heating and cooking.

Table 2 shows an approximate distribution of the principal energy resources used by some countries.

It should be pointed out that, within the group of conventional energy resources, the very controversial nuclear energy makes a small contribution. Thus, for instance, in the United States, the contribution of nuclear energy is similar to that of firewood and its derivatives.

The principal non-conventional resources are solar energy, biomass, wind energy, geothermal energy, ocean energy, non-renewable energy sources, and energy savings. It is worthwhile to note that even though biomass was included among the non-conventional resources, it has in part been considered conventional, e.g., firewood and derivatives.

These non-conventional resources will be described briefly below, leaving aside biomass, which will be dealt with exhaustively further on.

Solar energy, considered as an energy resource, refers fundamentally to the use of the radiant energy of the sun in direct, passive or active, applications. Among the best-known uses it is worthwhile to mention passive space heating, water heating for household purposes or for use in processes, and the generation of electric power through photoelectric cells.

Wind energy is the energy which comes directly from the wind. It is normally harnessed in two forms: being converted directly into mechanical energy by means of windmills, or indirectly through wind turbines with electric power generators.

Geothermal energy is that obtained from the hot magma existing inside the planet. This energy can be made manifest mainly as steam (geysers), hot water (hotsprings), or hot rocks. Its principal use refers to generation of power using steam turbines.

agua. Solamente la energía nuclear no tiene su origen en la energía solar y naturalmente, corresponde a la energía propia de la materia.

El petróleo, el gas natural y el carbón son la base fundamental de los recursos energéticos utilizados por los países desarrollados, constituyendo el orden del 80 por ciento del total. La hidroelectricidad, la leña y derivados, y la energía nuclear son proporcionalmente de menor importancia. En los países en vías de desarrollo, la situación es inversa. Países como India, China, la gran mayoría de los países de África y del sudeste asiático utilizan leña y derivados como fuentes primordiales de energía, tanto para calefacción como para cocina.

La Tabla 2 muestra una distribución aproximada de los principales recursos energéticos utilizados por algunos países.

Debe destacarse el hecho que la tan controvertida energía nuclear tiene una contribución pequeña dentro del conjunto de los recursos energéticos convencionales. Así, por ejemplo, en Estados Unidos, la contribución de la energía nuclear es similar al de la leña y derivados.

Los principales recursos no convencionales son la energía solar, la biomasa, la energía eólica, la energía geotérmica, la energía del océano, las fuentes energéticas no renovables y el ahorro de energía. Cabe señalar que, si bien la biomasa se ha incluido entre los recursos no convencionales, ésta ha sido en parte considerada convencional como leña y derivados.

A continuación se describirán brevemente estos recursos no convencionales, dejando aparte la biomasa que se desarrollará más exhaustivamente más adelante.

La energía solar considerada como recurso energético se refiere fundamentalmente a la utilización de la energía radiante del sol en aplicaciones directas, pasivas o activas. Entre los usos más conocidos vale la pena mencionar el calentamiento pasivo de viviendas, el calentamiento de agua para uso doméstico o en procesos y la obtención de potencia eléctrica mediante celdas fotoeléctricas.

La energía eólica es la energía proveniente de los vientos, la que normalmente es aprovechada en dos formas: directamente convertida en energía mecánica mediante molinos de viento, o bien indirectamente a través de turbinas de viento con generadores de potencia eléctrica.

La energía geotérmica es aquella obtenida del magma caliente que existe en el interior del planeta. Esta energía puede manifestarse principalmente como vapor (geyseres), agua caliente (aguas termales) o como rocas calientes. Su principal utilización es la proveniente de la generación de potencia mediante turbinas de vapor.

TABLE 2
CONSUMPTION DISTRIBUTION FOR THE MAIN FORMS OF ENERGY IN SOME COUNTRIES: 1979
(thousands of barrels of oil equivalent/day)

	Oil	Natural Gas	Coal	Hydro-electricity	Nuclear	TOTAL
ARGENTINA	478	172	22	17	5	695
AUSTRALIA	568	131	575	25	-	1,299
CANADA	1,825	713	391	413	57	3,441
FINLAND	259	15	75	18	-	367
JAPAN	4,889	504	1,047	133	102	6,676
PORTUGAL	156	-	10	20	-	186
SOUTH AFRICA	211	-	823	3	-	1,055
U.S.S.R.	6,918	6,155	6,875	305	76	20,311
U.K.	1,820	872	1,760	9	57	4,514
U.S.A.	18,054	9,358	7,651	476	434	35,390
WEST GERMANY	2,954	1,002	1,799	31	68	5,854

Source: Liscom, 1982

TABLA 2

DISTRIBUCION DE CONSUMO DE LOS PRINCIPALES ENERGETICOS PARA ALGUNOS PAISES : 1979
 (Miles de barriles equivalentes de petróleo/día)

	Petróleo	Gas Natural	Carbón	Hidro-electricidad	Nuclear	TOTAL
ALEMANIA FED.	2.954	1.002	1.799	31	68	5.854
ARGENTINA	478	172	22	17	5	695
AUSTRALIA	568	131	575	25	-	1.299
CANADA	1.825	713	391	413	57	3.441
ESTADOS UNIDOS	18.054	9.358	7.651	476	434	35.390
FINLANDIA	259	15	75	18	-	367
JAPON	4.889	504	1.047	133	102	6.676
PORTUGAL	156	-	10	20	-	186
SUDAFRICA	211	-	823	3	-	1.055
REINO UNIDO	1.820	872	1.760	9	57	4.514
U.R.S.S.	6.918	6.155	6.875	305	76	20.311

Fuente: Liscom, 1982

Ocean energy takes different forms, e.g., waves, tides, marine currents, differences in water temperatures and differences in saline concentrations. All of these are potential energy sources, which are currently in the research stage.

Non-renewable energy is comprised of all of those energy resources (generally of fossil origin) which exist in limited quantities just as oil and coal, but which are not exploited commercially since they are comparatively anti-economical. Among this type of energy, it is worthwhile to mention heavy oils, oil shales, and tar sands. These resources, although renewable, have the particularity of being abundant so that they could become an interesting future energy alternative.

Finally, energy savings has been considered as a non-conventional energy resource. Even though it is not a resource as such, it constitutes a significant source by means of which it is possible to obtain important results in terms of energy substitution. For the sake of example, Figure 1 shows the energy consumption of the United States, where an important decrease in consumption can be seen, due to energy savings, both because of the increase in prices and an intensive program of energy savings, through consciousness-raising campaigns, subsidies, etc. It is interesting to mention the situation of energy savings in Chile, which is depicted in Figure 2, showing the relation between the energy consumption and economic growth of that country. A major reduction in the index in question can be seen, brought about mainly by a realistic pricing policy and the elimination of subsidies.

Before delving into greater depth regarding the main subject of this paper, i.e., biomass and its use for energy purposes, it is useful and necessary to deal with some important general points in relation to the energy problem, in order to have a better understanding thereof.

The first of these refers to the relation with the energy unit commonly used in the analysis of energy problems, i.e., the barrel of oil equivalent, the equivalencies of which are shown in Table 3.

The second refers to a very brief analysis of overall world energy demand and the specific demands of some countries, which are shown in Table 4.

A greater level of disaggregation with respect to the distribution of consumption of the main forms of traditional energy is presented in Table 5, for different groups of countries. It is worthwhile to note the different impact of the oil increases in the developing countries as opposed to the developed countries.

La energía del océano tiene diversas formas de manifestarse tales como olas, mareas, corrientes marinas, diferencias de temperatura del agua y diferencias de concentración salinas. Todas son fuentes potenciales de energía, las que actualmente se encuentran en etapa de investigación.

Las fuentes energéticas no renovables están constituidas por todos aquellos recursos energéticos (en general de origen fósil), que existen en cantidades limitadas, al igual que el petróleo y el carbón, pero que no son explotados comercialmente por ser comparativamente antieconómicos. Entre este tipo de energéticos vale la pena mencionar los petróleos pesados, los esquistos bituminosos y las arenas asfálticas. Estos recursos, si bien no son no renovables, tienen la particularidad de ser abundantes, de manera que pueden constituirse en una interesante alternativa energética futura.

Finalmente, se ha considerado el ahorro de energía como un recurso energético no convencional. Si bien no es un recurso propiamente tal, constituye una fuente significativa a través de la cual se pueden obtener resultados importantes en términos de sustitución de energéticos. A modo de ejemplo, la Figura 1 muestra los consumos de energía de los Estados Unidos, en la que se aprecia una importante reducción en el consumo, fundamentalmente debido al ahorro de energía, originada tanto por el incremento en los precios, como por un intensivo programa de ahorro de energía, a través de campañas concientizadoras, subsidios, etc. Es interesante mencionar la situación del ahorro de energía en Chile, la que se visualiza en la Figura 2, que muestra la relación entre el consumo energético y el crecimiento económico en este país. Se puede apreciar claramente una fuerte reducción del índice en cuestión, ocasionado principalmente por una política de precios realista y la eliminación de subsidios.

Antes de profundizar el objeto de estudio principal de este trabajo: cuál es la biomasa y su utilización con fines energéticos, es conveniente y necesario abordar algunos puntos generales importantes en relación al problema energético para una mejor comprensión del mismo.

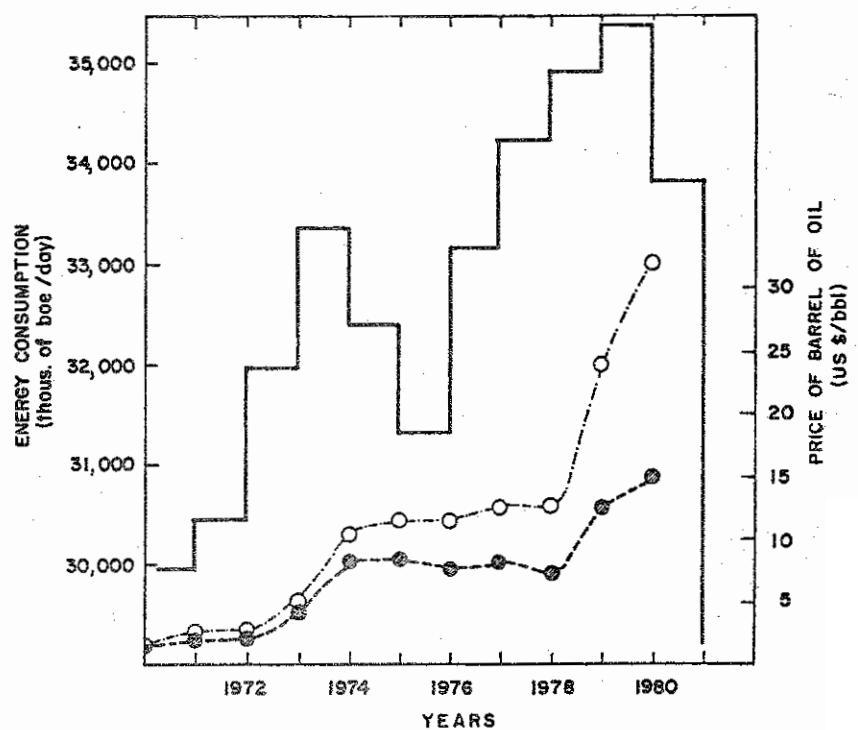
El primero de ellos dice relación con la unidad energética utilizada comúnmente en el análisis de problemas de energía; ella es el barril de petróleo equivalente, cuyas equivalencias se muestran en la Tabla 3.

El segundo se refiere al análisis muy resumido de la demanda energética mundial total y las particulares de algunos países, las que se muestran en la Tabla 4.

Un mayor nivel de desagregación referente a la distribución de consumo de los principales energéticos tradicionales se entrega en la Tabla 5, para diferentes agrupaciones de países. Cabe destacar el diferente impacto de las alzas de petróleo, en los países en vías de desarrollo comparado con los países desarrollados.

FIGURE I

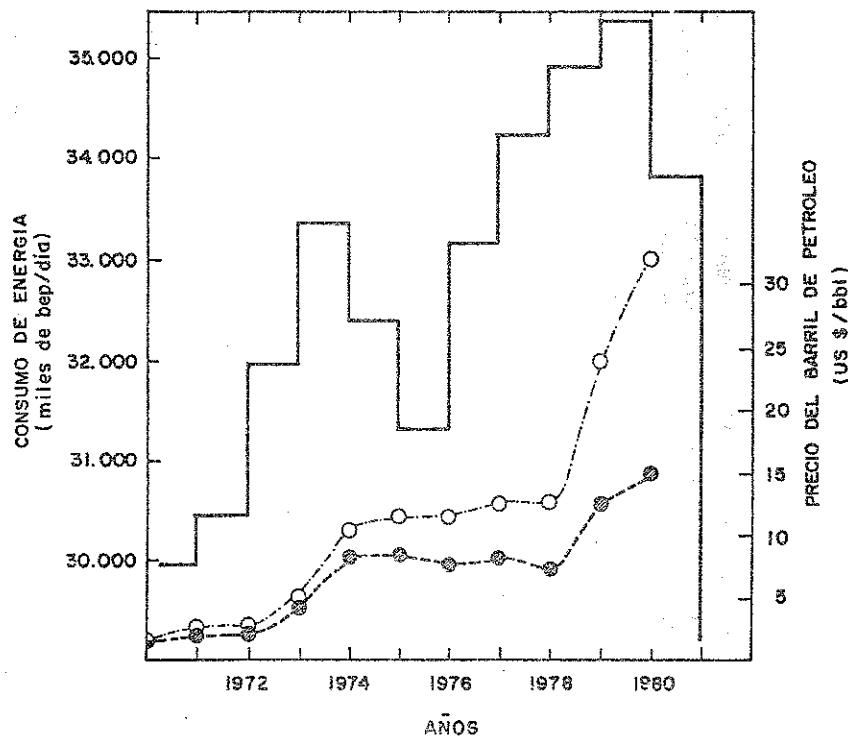
U.S. ENERGY CONSUMPTION AND
VALUE OF A BARREL OF ARABIAN LIGHT OIL
(THOUSANDS OF BARRELS OF OIL EQUIVALENT/DAY)



SOURCE: LISCOM, 1982

FIGURA 1

CONSUMO DE ENERGIA DE U.S.A. Y VALOR
DE PETROLEO ARABE LIVIANO
(MILES DE BARRILES EQUIVALENTES DE PETROLEO / DIA)



FUENTE: LISCOM, 1982

32

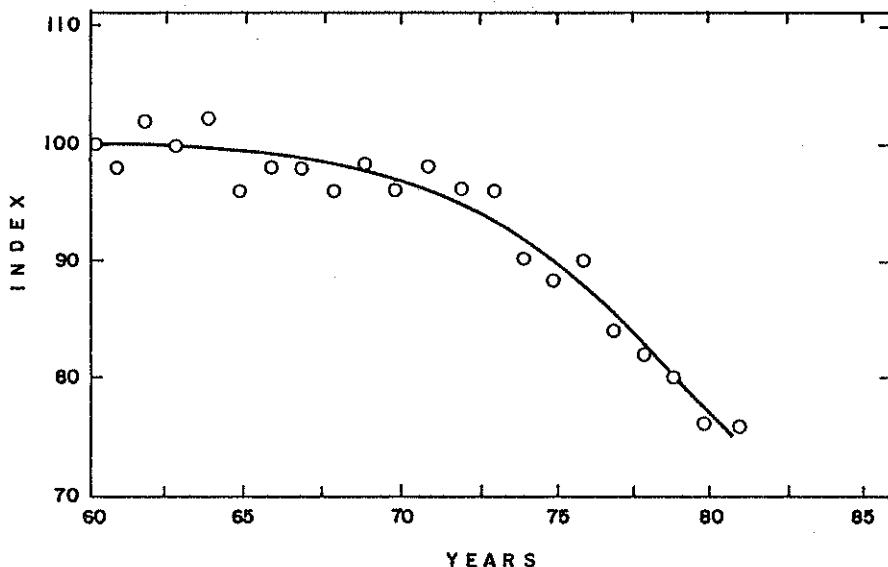


FIGURE 2

ENERGY CONSUMPTION INDEX PER UNIT OF ECONOMIC
GROWTH IN CHILE, FOR THE 1960-1981 PERIOD (ENERGY
CONSUMPTION/GROSS GEOGRAPHIC PRODUCT, TAKING 100 FOR THE BASE YEAR 1960)

SOURCE: HURTADO, 1982

33

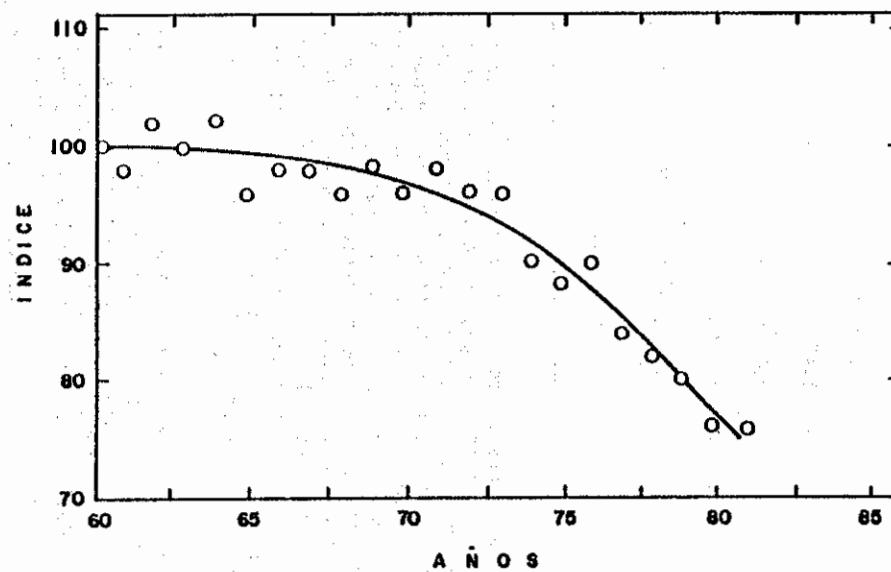


FIGURA 2

INDICE DEL CONSUMO ENERGETICO POR UNIDAD DE CRECIMIENTO ECONOMICO
EN CHILE, PARA EL PERIODO 1960 - 1981 (CONSUMO DE
ENERGIA / PRODUCTO GEOGRAFICO BRUTO, TOMANDO COMO BASE 100 A 1960)

FUENTE: HURTADO, 1982

TABLE 3
ENERGY EQUIVALENCIES

1 barrel of oil	=	159 liters
1 m ³ of oil	=	6.3 barrels
1 barrel of oil	=	1.43 x 10 ⁶ Kcalories
1 barrel of oil	≈	200 kg of coal
1 barrel of oil	≈	350 kg of wood
1 barrel of oil	≈	600 kg of wet forest residues
1 barrel of oil	≈	160 m ³ of natural gas

Finally, it is necessary to refer to production costs for the different forms of energy, since, as mentioned previously, it is the price, and therefore the cost, which ultimately determines the importance of an energy resource in terms of demand. Figure 3 shows the comparative production costs for the most important forms of energy. It is interesting to note that oil is the resource with the lowest production cost in the Middle East and, therefore, it is in the best position to compete. It is also expedient to point out that, in general, the non-conventional energy resources have an equivalent production cost relatively higher than that of the conventional resources, which is obviously within the foreseeable.

Among the energy resources analyzed herein, several are characterized by the fact that they are renewable, or at least non-depletable; for example, solar energy, biomass, ocean energy, etc. Unfortunately, most of these entail the drawback of a great deal of variation in availability, which makes it necessary to have costly systems of potential energy accumulation. There is one resource, however, which offers the dual advantage of being renewable and at the same time having a fairly reliable supply, with a simultaneous form of low-cost storage: biomass. For the reasons mentioned above, we feel that biomass will undoubtedly constitute a very important energy resource in the medium and long term, and it will therefore be the subject of a more detailed analysis in the present study.

TABLA 3
EQUIVALENCIAS DE ENERGIA

1 barril de petróleo	=	159 litros
1 m ³ de petróleo	=	6.3 bárriles
1 barril de petróleo	=	1.43 x 10 ⁶ Kcalorías
1 barril de petróleo	≈	200 kg de carbón
1 barril de petróleo	≈	350 kg de madera
1 barril de petróleo	≈	600 kg de residuos forestales húmedos
1 barril de petróleo	≈	160 m ³ de gas natural

Finalmente , es necesario referirse a los costos de producción de los distintos energéticos, ya que tal como menciono, es el precio y, por lo tanto, el costo lo que determina en definitiva la importancia de un recurso energético a través de su demanda. La Figura 3 muestra los costos comparativos de producción de los energéticos más importantes. Es interesante destacar que el petróleo del Medio Oriente es el recurso con un menor costo de producción y, por lo tanto, el que está en mejor posición de competencia. También vale la pena destacar que, en general, los recursos energéticos no convencionales tienen un costo de producción equivalente relativamente mayor que los recursos convencionales, lo que obviamente está dentro de lo previsible.

Entre los recursos energéticos analizados existen varios con la característica de ser renovables o bien no agotables, tales como la energía solar, la biomasa, la energía del océano, etc. Desafortunadamente, la mayoría de ellos presenta el inconveniente de una gran variabilidad de disponibilidad, que hace necesario costosos sistemas de almacenamiento tales como baterías electroquímicas o sistemas de acumulación de energía potencial. Hay un recurso, sin embargo, que presenta la doble característica de ser renovable y al mismo tiempo contar con una disponibilidad bastante confiable, proporcionando simultáneamente una forma de almacenamiento de bajo costo: la biomasa. Por las razones mencionadas, pensamos que la biomasa, sin duda, se constituirá en un recurso energético muy importante en el mediano y largo plazo, y por ello será objeto de un análisis más detallado en el presente estudio.

36

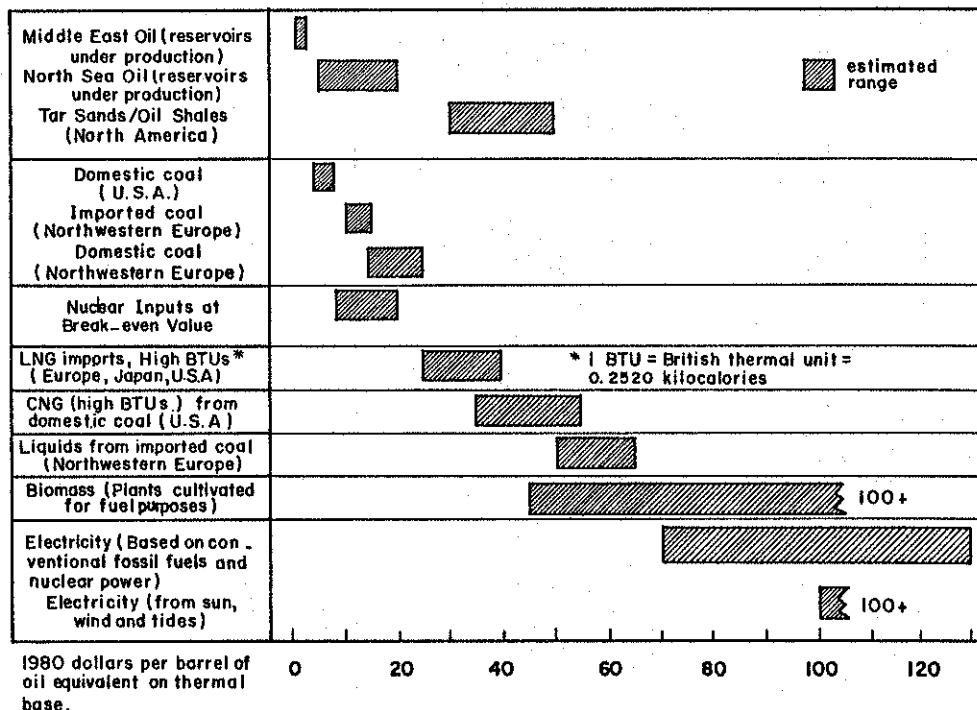
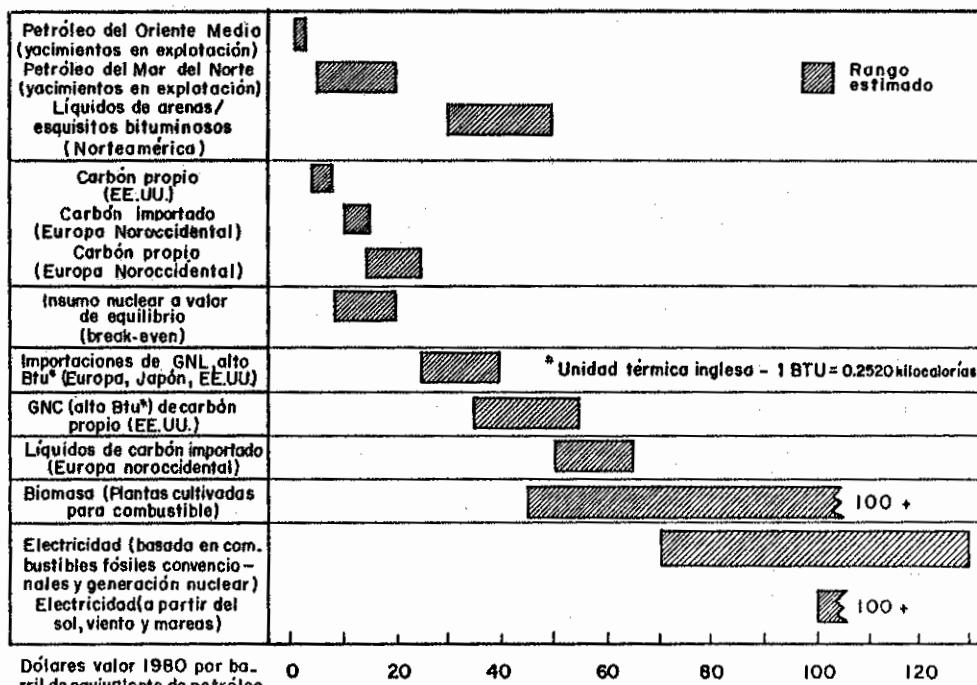


FIGURE 3
COMPARATIVE ENERGY PRODUCTION COSTS

SOURCE: SHELL BRIEFING SERVICE, Nº 3, 1982

37



FUENTE: SHELL BRIEFING SERVICE, N° 3, 1982

TABLE 4

ENERGY DEMAND WORLDWIDE AND IN SOME COUNTRIES
(thousands of barrels of oil equivalent/day)

	1980	1979	1978	1977	1976	1975	1974	1973	1972	1971	1970
WORLD	-	135717	129859	128045	122556	115880	116713	115813	109000	105635	100149
ARGENTINA	-	695	638	638	613	598	608	613	573	558	523
AUSTRALIA	-	1299	1280	1290	1245	1116	1141	1051	996	922	847
BRAZIL	-	1259	1210	1136	1076	986	922	822	722	643	573
CANADA	3407	3441	3263	3148	3049	2879	2945	2869	2819	2491	2441
CHILE	173	171	160	155	152	143	167	161	168	167	144
FRANCE	3544	3711	3370	3323	3378	3028	3515	3515	3189	3055	2978
ITALY	2685	2662	2660	2555	2625	2456	2570	2521	2371	2182	2142
JAPAN	6436	6676	6470	6695	6775	6351	6685	6879	6182	5788	5410
PERU	-	144	144	141	140	141	124	119	115	115	111
U.S.S.R.	-	20311	19497	19019	18401	17559	16628	15965	15143	14540	13719
U.K.	4164	4514	4284	4304	4244	4264	4384	4523	4339	4388	4324
U.S.A.	33928	35390	34874	34217	33255	31318	32433	33400	32060	40456	29923

Source: Liscom, 1982

39.

TABLA 4

DEMANDA ENERGETICA DE VARIOS PAISES Y MUNDIAL
(Miles de barriles equivalentes de petróleo/día)

	1980	1979	1978	1977	1976	1975	1974	1973	1972	1971	1970
MUNDIAL	-	135717	129859	128045	122556	115880	116713	115813	109000	105635	100149
ARGENTINA	-	695	638	638	613	598	608	613	573	558	523
AUSTRALIA	-	1299	1280	1290	1245	1116	1141	1051	996	922	847
BRASIL	-	1259	1210	1136	1076	986	922	822	722	643	573
CANADA	3407	3441	3263	3148	3049	2879	2945	2869	2819	2491	2441
CHILE	173	171	160	155	152	143	167	161	168	167	144
E.U.A.	33928	35390	34874	34217	33255	31318	32433	33400	32060	40456	29923
FRANCIA	3544	3711	3370	3323	3378	3028	3515	3515	3189	3055	2978
ITALIA	2685	2662	2660	2555	2625	2456	2570	2521	2371	2182	2142
JAPON	6436	6676	6470	6695	6775	6351	6685	6879	6182	5788	5410
PERU	-	144	144	141	140	141	124	119	115	115	111
REINO UNIDO	4164	4514	4284	4304	4244	4264	4384	4523	4339	4388	4324
U.R.S.S.	-	20311	19497	19019	18401	17559	16628	15965	15143	14540	13719

Fuente: Liscom, 1982

TABLE 5
TRADITIONAL ENERGY REQUIREMENTS FOR DIFFERENT GROUPS OF COUNTRIES

A. Western European Countries (*) and the People's Republic of China
(thousands of barrels of oil equivalent/day)

	1980	1979	1978	1977	1976	1975	1974	1973	1972	1971	1970
OIL	-	10608	10275	9943	9618	9149	8464	7953	7088	6663	6152
NATURAL GAS	-	7803	7225	6864	6442	5835	5320	4940	4624	4373	3890
COAL (AND OTHER SOLIDS)	-	19832	19502	18550	17499	17073	16454	16180	15759	15451	14904
NUCLEAR	-	104	90	78	63	44	38	25	16	11	7
HYDRO-ELECTRICITY	-	511	480	426	381	354	362	326	322	312	301
TOTAL	-	38858	37572	35861	34003	32455	30638	29424	27809	26810	25254

(*) Bulgaria, Czechoslovakia, West Germany, Poland, Rumania, U.S.S.R. and Yugoslavia

Source: Liscom, 1982

TABLA 5

REQUERIMIENTOS ENERGETICOS TRADICIONALES PARA DISTINTAS AGRUPACIONES DE PAISES

A. Paises de Europa Oriental (*) y la República Popular China
(miles de barriles equivalentes de petróleo/día)

	1980	1979	1978	1977	1976	1975	1974	1973	1972	1971	1970
PETROLEO	-	10608	10275	9943	9618	9149	8464	7953	7088	6663	6152
GAS NATURAL	-	7803	7225	6864	6442	5835	5320	4940	4624	4373	3890
CARBON (Y OTROS SOLIDOS)	-	19832	19502	18550	17499	17073	16454	16180	15759	15451	14904
NUCLEAR	-	104	90	78	63	44	38	25	16	11	7
HIDRO-ELECTRICIDAD	-	511	480	426	381	354	362	326	322	312	301
T O T A L	-	38858	37572	35861	34003	32455	30638	29424	27809	26810	25254

(*) Bulgaria, Checoslovaquia, R.D. de Alemania, Polonia, Rumania, Rusia y Yugoslavia

Fuente: Liscom, 1982

B. Countries of the European Economic Community (*)
(thousands of barrels of oil equivalent/day)

	1980	1979	1978	1977	1976	1975	1974	1973	1972	1971	1970
OIL	9596	10594	10149	9858	10141	9443	10606	11171	10447	9817	1915
NATURAL GAS	3638	3757	3517	3382	3286	3060	2893	2537	2208	1723	1328
COAL (AND OTHER SOLIDS)	4875	4917	4502	4407	4520	4361	4759	4781	4605	5109	5534
NUCLEAR	253	217	196	176	145	131	104	91	88	71	63
HYDRO-ELECTRICITY	407	403	257	282	201	239	222	211	226	205	237
T O T A L	18809	20248	18621	18105	18293	17234	18584	18791	17574	16925	16677

(*) Belgium, Denmark, France, West Germany, Ireland, Italy, Holland and the United Kingdom

B. Países de la Comunidad Económica Europea (*)
 (miles de barriles equivalentes de petróleo/día)

	1980	1979	1978	1977	1976	1975	1974	1973	1972	1971	1970
PETROLEO	9596	10594	10149	9858	10141	9443	10606	11171	10447	9817	1915
GAS NATURAL	3638	3757	3517	3382	3286	3060	2893	2537	2208	1723	1328
CARBON (Y OTROS SOLIDOS)	4875	4917	4502	4407	4520	4361	4759	4781	4605	5109	5534
NUCLEAR	253	217	196	176	145	131	104	91	88	71	63
HIDRO-ELECTRICIDAD	407	403	257	282	201	239	222	211	226	205	237
T O T A L	18809	20248	18621	18105	18293	17234	18584	18791	17574	16925	16677

(*) Bélgica, Dinamarca, Francia, R.F. de Alemania, Irlanda, Italia, Holanda y el Reino Unido

C. Canada and the U.S.A.
(thousands of barrels of oil equivalent/day)

	1980	1979	1978	1977	1976	1975	1974	1973	1972	1971	1970
OIL	18091	19879	20121	19625	18617	17258	17893	18501	17550	16225	15765
NATURAL GAS	9998	10071	9793	9724	9867	9683	10460	10803	10761	10578	10237
COAL	8259	8042	7348	7337	7068	6652	6525	6604	6214	5946	6226
NUCLEAR	487	491	520	468	352	313	218	166	103	72	39
HYDRO-ELECTRICITY	856	846	848	727	827	848	852	769	754	721	686
TOTAL	37691	39329	38630	37881	36731	34754	35948	36843	35382	33542	32953

C. Canadá y U.S.A.
 (miles de barriles equivalentes de petróleo/dfa)

45

	1980	1979	1978	1977	1976	1975	1974	1973	1972	1971	1970
PETROLEO	18091	19879	20121	19625	18617	17258	17893	18501	17550	16225	15765
GAS NATURAL	9998	10071	9793	9724	9867	9683	10460	10803	10761	10578	10237
CARBON	8259	8042	7348	7337	7068	6652	6525	6604	6214	5946	6226
NUCLEAR	487	491	520	468	352	313	218	166	103	72	39
HIDRO-ELECTRICIDAD	856	846	848	727	827	848	852	769	754	721	686
T O T A L	37691	39329	38630	37881	36731	34754	35948	36843	35382	33542	32953

D. Developing Countries Excluding Members of the OPEC
(thousands of barrels of oil equivalent/day)

	1980	1979	1978	1977	1976	1975	1974	1973	1972	1971	1970
OIL	-	6927	6571	6251	5797	5404	5266	5091	4670	4361	3925
NATURAL GAS	-	1002	907	817	747	725	705	656	578	493	472
COAL	-	1888	1790	1752	1647	1591	1455	1381	1320	1284	1273
NUCLEAR	-	25	20	10	11	10	6	5	2	2	4
HYDRO-ELECTRICITY	-	504	468	423	387	354	320	289	266	243	226
TOTAL	-	10340	9756	9253	8589	8084	7752	7422	6836	6383	5900

D. Paises en vías de desarrollo excluyendo los de la OPEP
 (miles de barriles equivalentes de petróleo/día)

	1980	1979	1978	1977	1976	1975	1974	1973	1972	1971	1970
PETROLEO	-	6927	6571	6251	5797	5404	5266	5091	4670	4361	3925
GAS NATURAL	-	1002	907	817	747	725	705	656	578	493	472
CARBON	-	1888	1790	1752	1647	1591	1455	1381	1320	1284	1273
NUCLEAR	-	25	20	10	11	10	6	5	2	2	4
HIDRO-ELECTRICIDAD	-	504	468	423	387	354	320	289	266	243	226
T O T A L	-	10340	9756	9253	8589	8084	7752	7422	6836	6383	5900

3. BIOMASS

"Biomass" can be understood to define all organic products of recent origin. The formation of biomass of vegetable origin will be analyzed below, since biomass of animal origin essentially depends on the former and, in terms of quantity of energy, is much less important.

The formation of vegetable biomass fundamentally occurs by means of photosynthesis, which requires four elements: sunlight, water, carbon dioxide, and the earth or water where the biomass will grow. In simplified form, photosynthesis can be divided into water hydrolysis and carbon fixation to form hydrocarbons, as schematized in Figure 4. It is worth mentioning that water hydrolysis in photosynthesis is a very promising reaction, the subject of important studies in the developed countries. Given that hydrogen is a fuel of high energy value and a low level of contamination, if it were possible to find an efficient mechanism of photosynthesis by means of which the plants could separate the hydrogen and oxygen of the water, it would be possible to have plants producing a large amount of clean fuel. The main problem lies in the efficiency of photosynthesis, which is on the order of 5.5% in the formation of hydrocarbons, when the plant is synthesizing energy. In general, it can be affirmed that agricultural crops with one to two plantings annually are less efficient, with levels usually on the order of 1%.

The availability of the four resources mentioned above as necessary for the generation of biomass will be analyzed below: solar energy, water, carbon dioxide and earth (excluding water as a substratum).

The energy delivered by the sun is approximately 4 billion barrels of oil per day; this means that Earth receives on the order of 20,000 times more energy than the total current world consumption.

Carbon dioxide will be analyzed on the basis of carbon availability. Carbon is distributed among three sources: the ocean, the continents and the atmosphere. The balance achieved between the atmosphere and the continents through photosynthesis is on the order of 113 gigatons, and between the ocean and the atmosphere through biological processes more than 100 gigatons, as can be seen in Figure 5. Worldwide, there is some concern that more CO₂ is being generated through the fuels that are being burned in comparison with what the earth is synthesizing through plants, since the number of plants is diminishing. Actually, in real terms, the rate of growth of CO₂ in the atmosphere has been approximately 1% during recent years. The surplus CO₂ in the atmosphere produces a greenhouse effect, i.e., it increases the energy delivered by the sun to the earth and

3. BIOMASA

Como biomasa se puede definir a todo producto orgánico de origen reciente. Se analizará a continuación la formación de la biomasa de origen vegetal, ya que la biomasa animal depende esencialmente de lo primero, y en términos de cantidad de energía es de mucho menor importancia.

La formación de la biomasa vegetal ocurre fundamentalmente a través de la fotosíntesis, la cual requiere de cuatro elementos: la energía solar, el agua, el anhídrido carbónico y la tierra o agua, donde crece la biomasa. En forma muy simplificada, la fotosíntesis se puede dividir en una hidrólisis del agua y en una fijación del carbono para formar hidrocarburos, tal como se esquematiza en la Figura 4. Vale la pena mencionar que la hidrólisis del agua en la fotosíntesis es una reacción muy promisoria, objeto de importantes estudios en los países desarrollados. Dado que el hidrógeno es un combustible de alto valor energético y de bajo nivel de contaminación, si se pudiese encontrar un mecanismo eficiente de fotosíntesis mediante el cual las plantas separasen el hidrógeno y el oxígeno del agua, sería posible tener vegetales que produjesen una gran cantidad de combustible limpio. El principal problema radica en la eficiencia de la fotosíntesis, la cual es del orden del 5,5 por ciento en la formación de hidrocarburos cuando la planta está sintetizando energía. En general, se puede afirmar que los cultivos agrícolas con una a dos rotaciones anuales, tienen una eficiencia menor, la que en general es del orden del 1%.

A continuación, se analizarán en forma resumida cuáles son las disponibilidades de los cuatro recursos ya mencionados: la energía solar, el agua, el anhídrido carbónico y la tierra (se excluirá el agua como sustrato), necesarios para generar la biomasa.

La energía que entrega el sol es aproximadamente de 4 billones de barriles/día de petróleo; lo que significa que la tierra recibe del orden de 20.000 veces más energía que el total del consumo mundial actual.

El anhídrido carbónico se analizará a través de la disponibilidad del carbono. El carbono se distribuye en tres fuentes: en el océano, en los continentes y en la atmósfera. El balance entre la atmósfera y los continentes realizado a través de la fotosíntesis es del orden 113 gigaton, y entre el océano y la atmósfera, a través de los procesos biológicos es de más 100 gigaton, tal como se muestra en la Figura 5. Hay alguna preocupación, a nivel mundial, en relación a que se estaría generando más CO₂ por vía de los combustibles que se están quemando, en comparación con el que la tierra está sintetizando a través de las plantas, toda vez que se está disminuyendo el número de plantas. De hecho, en términos reales, la tasa de crecimiento del CO₂ atmosférico es de un 1% aproximado en los últimos años. El exceso de CO₂ en la atmósfera produce un efecto invernadero, es decir, aumenta la energía entregada del sol a la tierra, y

FIGURE 4

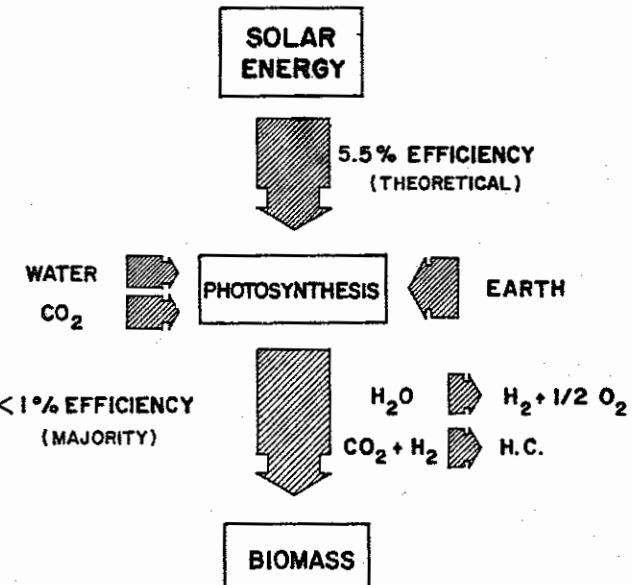
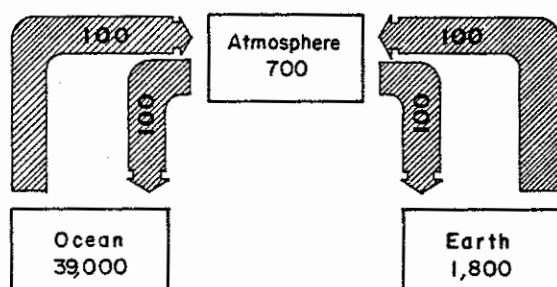


DIAGRAM OF BIOMASS PRODUCTION
BY MEANS OF PHOTOSYNTHESIS

SOURCE: HALL, 1982

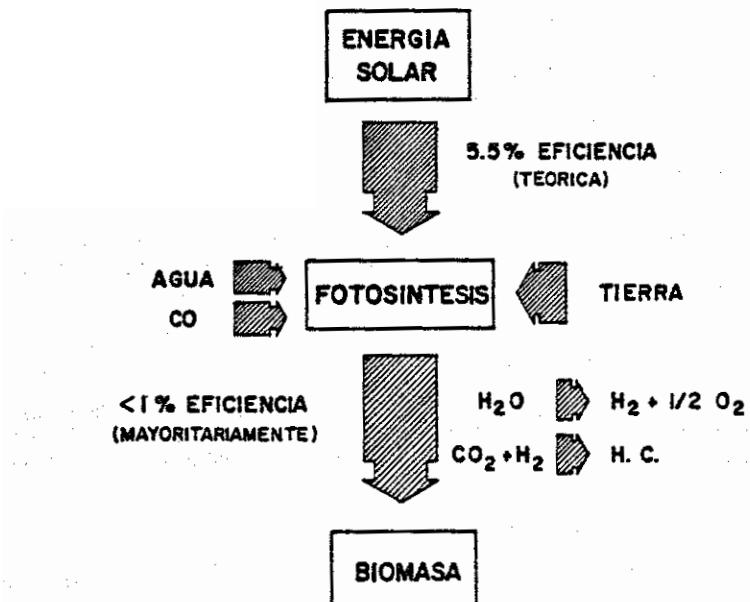
FIGURE 5



DISTRIBUTION AND FLOW OF
CARBON ON EARTH (GIGATONS)

SOURCE: REVELLE, 1982

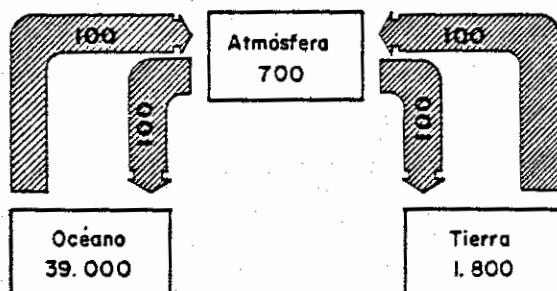
FIGURA 4



ESQUEMA DE LA PRODUCCION DE BIOMASA
A TRAVES DE LA FOTOSINTESIS

FUENTE: HALL, 1982

FIGURA 5



DISTRIBUCION Y FLUJO DEL CARBONO EN LA
TIERRA. (GIGATONELADAS)

FUENTE: REVELLE, 1962

decreases that emitted by the earth. According to asseverations in this regard, this has translated into an increase in the average ambient temperature in some regions.

Only fresh water will be analyzed, since the vast majority of the biomass currently utilizable for energy purposes requires fresh water. This is on the order of 37 million km³ but what can really be tapped is less than 1% (Ambroggi, 1980). In general, more fresh water is available at the Poles.

The Earth's surface is on the order of 350 km² and only 1% is used for agriculture. It is estimated that 50 million km² could be earmarked for biomass cultivation.

4. RESOURCES AND USES

Biomass resources will be analyzed below from two standpoints, related to their use for energy purposes: from the standpoint of resources and from the standpoint of utilization processes.

A. Biomass Resources:

These are usually classified as residues and plants.

1. Residues:

"Residues" will be understood to be that part of biomass, whether of plant or animal origin, that is not used and that is normally returned to the soil by means of microbial decomposition. These residues may have three origins: forests, agriculture and animals and urban areas.

- Forest residues: These come basically from the felling of trees and the lumber industry (pulp and lumber). In both cases, the amounts of residues are considerable, fluctuating between 35% and 65% of the total tree biomass. The principal drawback for their use for energy purposes lies in the high costs of transportation between the centers of production and consumption. It is worthwhile to mention that not all the waste coming from forest exploitation (branches and leaves) can be utilized, since that would bring about problems of impoverishment of the soil and erosion. Nonetheless, the material having the greatest energy value (woody material) does not make a significant contribution toward avoiding the loss of nutrients

disminuye la emitida por la tierra. Esto, según se afirma, se ha traducido en que el promedio de temperatura ambiental en algunas regiones haya subido.

Se analizará sólo el agua dulce, ya que la gran mayoría de la biomasa utilizable actualmente con fines energéticos requiere agua dulce. Ella es del orden de 37 millones de km³, pero lo que realmente se puede utilizar es menos del 1% (Ambroggi, 1980). En general, la mayor disponibilidad de agua dulce se encuentra en los polos.

La superficie de la tierra es del orden de los 350 millones km² y solamente el 1% está destinado a la agricultura. Se estima que se podrían destinar 50 millones de km² para el cultivo de biomasa (Riesco, 1983).

4. RECURSOS Y UTILIZACION

Se analizará a continuación los recursos de la biomasa desde dos puntos de vista, en relación a su uso con fines energéticos: desde el punto de vista de los recursos y desde el punto de vista de los procesos de utilización:

A. Recursos de la Biomasa:

Estos normalmente se clasifican en residuos y plantaciones.

1. Residuos:

Se entenderá por residuos a aquella parte de la biomasa, tanto de origen vegetal como animal, que no es utilizada y que normalmente se reintegra al suelo por vía de descomposición microbiana. Estos residuos pueden tener tres orígenes: forestales, agrícolas y residuos urbanos y animales.

- Residuos forestales: provienen fundamentalmente de la tala de bosques y de la industria elaboradora de madera (celulosa y maderas elaboradas). En ambos casos, las cantidades de residuos son considerables, oscilando entre un 35% y un 65% del total de la biomasa del árbol. El principal inconveniente para su uso con fines energéticos radica en los altos costos de transporte entre el centro productor y consumidor. Es importante mencionar que no todos los desechos provenientes de la explotación del bosque (ramas y follaje) pueden ser utilizados, ya que ello ocasionaría problemas de empobrecimiento del suelo y erosión. Sin embargo, el material con mayor valor energético (material leñoso) no aporta significativamente a evitar la pérdida de nutrientes y la erosión,

and erosion; instead, this action is taken care of by the leaves which normally remain on the ground. The calorific value of these residues varies considerably according to the type of wood and its humidity; in the case of Chile, the most representative value is 3800 Kcal/kg, corresponding to pine with 30% humidity. In order to appreciate the potential magnitude of the resource, it is worth mentioning that one region of Chile alone saves imports on the order of US\$ 25,000 annually (*), due to the substitution of fuel oils by sawdust, splinterings and shavings.

- Agricultural residues: These come primarily from traditional crops such as wheat, corn, legumes, etc. The amount of residues varies significantly depending on the crop, fluctuating approximately between 35% and 70% of the total biomass. The same considerations established previously for the case of forest residues apply to the case of agricultural residues, in relation to transportation costs, the loss of nutrients and soil erosion. The average calorific value for these residues fluctuates around 3500 Kcal/kg.
- Urban and animal residues: These come from the refuse of cities and/or urban households, as well as from sewage waters and animal waste. In general, the use of these resources for the sole purpose of producing energy is not justifiable, and there are usually side benefits such as improved hygiene, production of proteins for animal feeds and production of fertilizers which together with energy justify projects for the use of this type of residues. Perhaps the clearest example in this respect is the treatment of sewage waters in large cities, where energy generation is a secondary product, with respect to the health and ecological problems which polluted water represents.

2. Plantations:

"Plantations" will be understood as those crops planted for the principal aim of producing biomass for use as an energy source. These plantations may be of three types: forest, agricultural, and water plants. Only in the case of

(*) CIDERE - Bio-Bio, XVI Annual Yearbook, July 1982.

sino que más bien esta acción la realizan las hojas, que normalmente permanecen en el terreno. El poder calorífico de estos residuos varía considerablemente con el tipo de madera y la humedad, siendo para el caso chileno el valor más representativo el de 3.800 kcal/kg correspondiente a pino con 30% de humedad. Para apreciar la magnitud potencial del recurso, vale la pena mencionar que sólo en una región de Chile se han ahorrado importaciones del orden de US\$ 25.000 anuales (*), debido a la sustitución de petróleos combustibles por aserrín, astillas o viruta de madera.

- Residuos agrícolas: provenientes principalmente de los cultivos tradicionales tales como, trigo, maíz, leguminosas, etc. La cantidad de residuos varía en forma importante según sea el cultivo que se trate, oscilando aproximadamente entre un 35% y un 70% del total de la biomasa. Las mismas consideraciones establecidas para el caso de los residuos forestales se aplican para el caso de los desechos agrícolas, en relación a los costos de transporte, la pérdida de nutrientes y la erosión del suelo. El poder calorífico medio de estos residuos oscila alrededor de 3.500 Kcal/kg.
- Residuos urbanos y animales: provenientes de las basuras de ciudades y/o casas rurales, así como también los provenientes de aguas servidas y desechos animales. En general la utilización de estos recursos con el sólo propósito de producir energía no se justifica, y normalmente existen beneficios complementarios, tales como el mejoramiento de la higiene, producción de proteínas para alimentación animal y producción de fertilizantes, que en conjunto con la energía, justifican proyectos de utilización de este tipo de residuos. Tal vez el ejemplo más claro a este respecto es el tratamiento de aguas servidas en las grandes ciudades, donde la generación de energía es un producto secundario, respecto del problema sanitario y ecológico que representa las aguas contaminadas.

2. Plantaciones:

Se entenderá por plantaciones a aquellos cultivos hechos con el principal fin de producir biomasa para ser utilizada como fuente de energía. Estas plantaciones pueden ser de tres tipos: forestales, agrícolas y plantas acuáticas. Solamente en el caso agrí-

(*) CIDERE - Bío-Bío, XVI Memoria Anual, Julio 1982

farming are there energy plantations operating commercially and these are oriented to the production of ethanol from sugarcane and beets, the former having larger volumes of operation. The two remaining ones, forestry and water plants, have only been developed experimentally, and it is important to note the plantations of certain types of tropical eucalyptus with mass growth rates double the normal rate. The production of useful biomass in plantations have yields of around 5 tons/hectare for agriculture, 7-10 tons/hectare for forestry, and 7-12 tons/hectare for aquatic plants (Hall, 1982).

It is worthwhile to note that there are certain types of algae that have growth yields over 50 tons/hectare at an experimental level.

B. Utilization Processes:

There are basically two processes for using biomass for energy purposes: microbial digestion and thermal conversion. The former is applicable in the case of wet biomass (humidity 65%) and the second in the case of dry biomass (humidity 65%).

- Microbial digestion: This consists essentially of the action of microorganisms on cellulosic compounds and carbohydrates for the formation of various fuels. The most important are the fermentation of sugars for the production of ethanol, anaerobic digestion for the generation of biogas (approximately 60% methane and 30% carbon dioxide), and the extraction of diverse chemical products.
- Thermal conversion: This consists essentially of the total and/or partial combustion of biomass to produce energy directly, or else fuels with a greater energy value than the original material. Among these processes, it is worth noting especially the direct combustion of biomass, which can be with or without previous densification (briquettes, pellets, etc.), the most common example being the combustion of firewood in stoves and/or ovens. Among the fuel production processes of the highest energy value, mention should be made of gasification (heating of biomass with partial combustion), and pyrolysis and liquefaction (both are heating of biomass in the absence of air, at different temperatures and pressures). In the three cases, gaseous fuels (methane and CO), liquid fuels (tar) and solid fuels (charcoal) are obtained.

cola existen plantaciones energéticas operando en forma comercial y ellas son las destinadas a la producción de etanol a partir de caña de azúcar y remolacha, siendo la primera la de mayor volumen operacional. Las dos restantes, forestales y plantas acuáticas, se encuentran desarrolladas sólo en forma experimental, siendo importante destacar las plantaciones de ciertos tipos de eucaliptos tropicales con tasas de crecimiento másico del doble de las normales. La producción de biomasa útil en plantaciones tienen rendimientos de alrededor de 5 ton/hectárea para las agrícolas, 7-10 ton/hectárea para las forestales y 7-12 ton/hectárea para las plantas acuáticas. (Hall, 1982).

Cabe destacar que existe cierto tipo de algas que tienen crecimientos sobre 50 ton/hectárea a nivel experimental.

R Procesos de Utilización:

Existen fundamentalmente 2 procesos de utilización de la biomasa con fines energéticos: digestión microbiana y conversión térmica. El primero es aplicable en el caso de la biomasa húmeda (humedad >65%) y los segundos en el caso de la biomasa seca (humedad <65%).

- Digestión microbiana: consiste esencialmente en la acción de microorganismos sobre compuestos celulosicos e hidratos de carbono para la formación de diversos combustibles. Los más importantes son la fermentación de azúcares para la producción de etanol, la digestión anaeróbica para la generación de biogas (60% de metano y 30% de anhídrido carbónico aproximadamente), y la extracción de productos químicos diversos.
- Conversión térmica: consiste esencialmente en la combustión total y/o parcial de la biomasa para producir energía directamente o bien combustibles con un mayor valor energético que el material original. Entre estos procesos vale la pena destacar muy principalmente la combustión directa de la biomasa, la que puede ser con o sin densificación previa (Briquetas, Pellets, etc.), siendo el ejemplo más cotidiano la combustión de la leña en estufas y/o cocinas. Entre los procesos de producción de combustibles de un mayor valor energético, hay que mencionar la gasificación (calentamiento de la biomasa con combustión parcial), y, pirolisis y licuefacción (ambas son calentamiento de la biomasa en ausencia de aire, bajo distintas temperaturas y presiones). En los tres casos se producen combustibles gaseosos (metano y CO), líquidos (alquitrán) y sólidos (carbón vegetal).

Having reviewed both the resources and the processes of utilization, it is worthwhile to ask: what will the medium- and long-term future of biomass be as an energy source? In this respect, it should be pointed out that the gradual implementation of biomass for energy purposes will fundamentally depend on the price of traditional alternative energy resources and on the economic-geoclimatic situation of each country in particular. Thus, for example, Brazil clearly has comparative advantages for the production of ethanol from sugarcane since it has vast plantations permitting low sugar production costs. Furthermore, its energy situation is heavily dependent on imported oil. Together, these facts make a program of substitution for gasoline by ethanol such as the one implanted in Brazil appear reasonable for this particular case. In general, each country should look for a particular source of biomass that is abundant and cheap, so that it will be able to compete with the alternative energy resources. For the sake of example, Table 6 shows the approximate prices of the different forms of energy, both traditional and non-traditional, for the case of Chile. The data in the table show the comparative advantages of woody residues, as is to be expected in a country with a high level of silviculture development.

To conclude, a problem set within the problem of energy production based on biomass will be analyzed: the competition that could possibly arise between the production of biomass for energy purposes and the production of biomass for food purposes. The truth is that, even though in a first analysis there is competition, if the problem is handled suitably it will be possible to generate complementarity between food production (or other traditional applications such as wood and pulp) and energy generation, by using only agricultural and forest wastes as fuels, so as to obtain a dual benefit. It is also possible to avoid unnecessary competition by using semi-arid land inappropriate for agricultural purposes, but adequate for the cultivation of species such as the guayule, jojoba, sorghum, espino, etc., from which not only fuels but also chemical products such as rubber, oils, etc., can be extracted. Finally, in terms of the food-energy problem, it should be pointed out that in many developing countries, the latter constitutes a more serious problem than the former, since in primitive rural societies the mass ratio between energy and food can be around 20 to 1, which obviously reflects a crucial problem. It should not be forgotten that world food production manages to meet the requirements of the world population without a deficit, and that the problems of malnutrition come fundamentally from problems of resource distribution, which do not occur in the case of energy.

Habiendo revisado tanto los recursos como los procesos de utilización, cabe la pregunta: cuál será el futuro a mediano y largo plazo de la biomasa como fuente de energía? A este respecto hay que señalar que la implementación gradual de la biomasa con fines energéticos dependerá fundamentalmente del precio de los recursos energéticos tradicionales alternativos y de la situación geoclimática económica de cada país en particular. Así, por ejemplo, Brasil tiene claramente ventajas comparativas para la producción de etanol a partir de caña de azúcar, ya que cuenta con vastas plantaciones que le permiten bajos costos de producción de azúcar, y además su situación energética es fuertemente dependiente del petróleo importado, lo que en conjunto determina que un programa de sustitución de gasolina por etanol, como el implantado en Brasil, aparezca razonable para ese caso particular. En general, cada país deberá buscar aquella fuente de biomasa particular que sea abundante y barata, de modo que pueda competir con los recursos energéticos alternativos. A modo de ejemplo, la Tabla 6 muestra los precios aproximados de diversos energéticos tanto tradicionales como no tradicionales, para el caso de Chile. De los datos de la tabla se puede apreciar las ventajas comparativas de los residuos leñosos, lo que era de esperarse en un país con un alto desarrollo de la silvicultura.

Finalmente, se analizará una problemática conexa en el problema de la producción de energía a partir de la biomasa: cuál es la competitividad que eventualmente se produciría por el suelo, entre la producción de biomasa con fines energéticos y la producción de biomasa con fines alimentarios? La verdad es que, si bien en un primer análisis, la competitividad existe, si el problema se manipula adecuadamente, se puede generar una complementariedad entre la producción de alimentos (u otras aplicaciones tradicionales tales como madera y celulosa) y la generación de energía, por la vía de usar como combustibles sólo los desechos tanto agrícolas como forestales, de manera de obtener un doble beneficio. También puede evitarse la innecesaria competencia utilizando terrenos semiáridos, inapropiados para fines agrícolas, pero sí adecuados para el cultivo de especies tales como el guayule, jojoba, sorgo, espino, etc., de los cuales se pueden extraer no sólo combustibles, sino también productos químicos, tales como caucho, aceites, etc. Cabe por último señalar, en torno al problema alimento-energía, que en muchos países en vías de desarrollo este último constituye un problema más grave que el alimentario, creando problemas de erosión y devastación de terrenos, ya que en sociedades rurales primitivas la relación másica entre energía y alimento puede ser de alrededor de 20 a 1, lo que obviamente representa un problema crucial. No debe olvidarse que la producción de alimentos en el mundo alcanza para satisfacer los requerimientos de la población mundial sin déficit y que los problemas de malnutrición provienen fundamentalmente de problemas de distribución de los recursos, cosa que no ocurre en el caso de la energía.

TABLE 6
COMPARATIVE ENERGY VALUES

	1980 price US¢/Kcal	Estimated 1990 price US¢/Kcal
TRADITIONAL RESOURCES		
Firewood	0.0008	0.0009
Imported coal	0.0011	0.0012
Domestic coal	0.0015	0.0016
Fuel oil No. 6	0.0021	0.0031
Fuel oil No. 5	0.0026	0.0038
Industrial liquefied gas	0.0044	0.0066
Electricity	0.0048	0.0059
NON-TRADITIONAL RESOURCES		
Paper waste	0.00012	0.00018
Scrap tires	0.00032	0.00050
Sawmill waste	0.00042	0.00063
Forestry waste	0.00060	0.00090
Agricultural waste	0.00067	0.00100
Oil mill waste	0.00075	0.00110
Municipal waste	0.00079	0.00120
Solar energy	0.01000	0.01000

Source: Guzman, et. al., 1980

TABLA 6
VALORES COMPARATIVOS DE LA ENERGIA

	Precio 1980 ctvs US\$/Kcal	Precio estimado 1990 ctvs US\$/Kcal
RECURSOS TRADICIONALES		
Leña	0.0008	0.0009
Carbón importado	0.0011	0.0012
Carbón nacional	0.0015	0.0016
Fuel oil No. 6	0.0021	0.0031
Fuel oil No. 5	0.0026	0.0038
Gas licuado industrial	0.0044	0.0066
Electricidad	0.0048	0.0059
RECURSOS NO TRADICIONALES		
Desechos de papel	0.00012	0.00018
Scrap de neumáticos	0.00032	0.00050
Desechos aserraderos	0.00042	0.00063
Desechos forestales	0.00060	0.00090
Desechos agrícolas	0.00067	0.00100
Desechos aceiteras	0.00075	0.00110
Desechos municipales	0.00079	0.00120
Energía solar	0.01000	0.01000

Fuente: Guzmán, et al, 1980

STANDARDIZATION OF HYDRAULIC TURBINES OF THE MICHELL-BANKI
TYPE, FOR USE IN SMALL HYDROPOWER STATIONS

Hydroenergy and Electricity Program
Technical Department
OLADE

SUMMARY

The present paper discusses the principal criteria which, in the opinion of the author, should be considered in order to correctly standardize this type of turbines, so as to cover their full range of application. Specifically, examples are given of how to use these criteria in such a standardization procedure, and a chart of the main features of the turbines in question is presented.

1. INTRODUCTION

Since the cross-flow hydraulic turbines-- most commonly known as Michell-Banki turbines-- have found widespread acceptance in several countries of the region, due fundamentally to their relative simplicity and ease of construction, permitting the use of non-conventional technologies for their fabrication, the Latin American Energy Organization (OLADE) decided to devote two volumes of the Manual on Design, Fabrication and Standardization of Equipment for Small Hydropower Stations (SHP) to the study of these turbines.

The present paper constitutes a brief synthesis of these two volumes, in an effort to disseminate their principal aspects but by no means to supersede them.

2. STANDARDIZATION ACCORDING TO HYDRAULIC CRITERIA

In general, turbine standardization consists of designing an adequate number of turbines which complement each other in their range of application, so that together they

ESTANDARIZACION DE TURBINAS HIDRAULICAS TIPO MICHELL BANKI PARA SER USADAS EN PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS

Programa de Hidroenergía y Electricidad
Departamento Técnico
OLADE

RESUMEN

En el trabajo se presentan los principales criterios que, a juicio del autor, deben considerarse para lograr la correcta estandarización de este tipo de turbinas, para cubrir todo el campo de aplicación de las mismas. Concretamente se aplican esos criterios y se realiza la estandarización, presentándose finalmente un cuadro con las principales características de las turbinas definidas.

1. INTRODUCCION

Dado que las turbinas hidráulicas de flujo cruzado - más comúnmente denominadas tipo Michell-Banki - han tenido una gran aceptación en varios países de la región, debido fundamentalmente a su relativa sencillez y facilidades constructivas que permiten el uso de tecnologías no convencionales para su fabricación, la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), decidió dedicar al estudio de estas turbinas dos volúmenes del Manual de Diseño, Fabricación y Estandarización de Equipos para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH).

El presente trabajo constituye en sí una apretada síntesis del resultado de esos dos volúmenes, pretendiendo divulgar los principales aspectos de ellos, pero no pretende ni puede sustituirlos.

2. ESTANDARIZACION SEGUN CRITERIOS HIDRAULICOS

La estandarización de turbinas en general consiste en diseñar un número adecuado de turbinas que se complementen en su rango de

will cover the full range of application of the type of turbine in question.

For standardization purposes, and attentive to the adequate hydraulic functioning of the turbine, it is possible to work on the basis of the expression for a specific number of revolutions, given by:

$$N_q = \frac{NQ^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (1)$$

where:

N_q : specific number of revolutions, which, in the case of Michell-Banki turbines, fluctuates between 18 and 60.

Q : design flow, m^3/s .

H : net utilizable head, m .

N : optimal number of turbine revolutions (rpm), with:

$$N = \frac{39.85 H^{1/2}}{D_e} \quad (2)$$

D_e : external runner or rotor diameter

By substituting (2) in (1) and solving:

$$\frac{Q}{\sqrt{H}} = \left[\frac{D_e N_q}{39.85} \right]^2 \quad (3)$$

Expression (3) shows, first of all, that a given runner turbine with a diameter D_e could operate with any combination of head and flow for which the specific number of revolutions would remain constant; that is:

$$\frac{Q}{\sqrt{H}} = K \text{ (constant)} \quad (4)$$

aplicación, de tal modo que en su conjunto cubran todo el campo de aplicación del tipo de turbinas de que se trate.

Para la estandarización, atendiendo al adecuado funcionamiento hidráulico de la turbina, se puede partir de la expresión del número específico de revoluciones que viene dada por :

$$N_q = \frac{NQ^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (1)$$

en la que

N_q : número específico de revoluciones, que en el caso de las Michell-Banki oscila entre 18 y 60.

Q : caudal de diseño, m^3/s .

H : salto neto aprovechable, m.

N : número óptimo de revoluciones de la turbina (rpm), siendo:

$$N = \frac{39,85 H^{1/2}}{D_e} \quad (2)$$

D_e : diámetro exterior del rodete o rotor, m.

sustituyendo (2) en (1) y despejando convenientemente, resulta:

$$\frac{Q}{\sqrt{H}} = \left[\frac{D_e N_q}{39,85} \right]^2 \quad (3)$$

esta expresión (3) demuestra, en primer lugar, que una determinada turbina de rodete con diámetro D_e podrá operar con cualquier combinación de salto y caudal tal, que el número específico de revoluciones permanezca constante, esto es que :

$$\frac{Q}{\sqrt{H}} = K \text{ (constante)} \quad (4)$$

Now, knowing that for Michell-Banki turbines 18 $N_q = 60$, the substitution of those external values in (3) yields:

$$\frac{Q}{\sqrt{H}} = (0.204 - 2.267) D_e^2 \quad (5)$$

This expression is of great practical value, since it makes it possible to establish the extreme values for Q/\sqrt{H} for the application of each turbine of diameter D_e .

It is worth recalling the graphic interpretation for expression (4), shown in Figure 1.

On the basis of equation (5) and considering various values for the runner diameter, one arrives at the results shown in Table I, where it can readily be seen that there is ample overlapping in the field of application of the different runners. Furthermore, it is easy to demonstrate that the quotient $(Q/\sqrt{H})_{min}/(Q/\sqrt{H})_{max}$ is equivalent to the turbine's least favorable operating conditions at partial load P/P_{max} . All of the cases in Table I are between 8.8% and 9.2%, which prove excessively low and unfavorable for turbine efficiency in terms of the head produced.

TABLE I

D_e	$(Q/\sqrt{H})_{min}$	$(Q/\sqrt{H})_{max}$
0.25	0.013	0.142
0.30	0.018	0.204
0.40	0.033	0.363
0.50	0.051	0.567
0.55	0.062	0.686
0.60	0.073	0.816
0.70	0.100	1.111
0.75	0.115	1.275

In view of the aforementioned aspects, and the fact that the field of application of Michell-Banki turbines, as agreed by several authors, is for approximately $0.013 \leq Q/\sqrt{H} \leq 0.686$, one arrives at the conclusions in Table II, on the basis of which the graph in Figure 2 can be plotted, to summarize in simple fashion the standardization of Michell-Banki turbines, taking into account their adequate hydraulic functioning.

Table II shows that, considering that the turbine is designed for a final (Q/\sqrt{H}) and that it works with an initial (Q/\sqrt{H}) , the effect of turbine efficiency only

ahora bien, conociendo que para las turbinas Michell-Banki se cumple que $18 N_q \leq 60$, sustituyendo dichos valores externos en (3), resultará :

$$\frac{Q}{\sqrt{H}} = (0,204 - 2,267) D_e^2 \quad (5)$$

expresión que tiene un gran valor práctico, toda vez que permite establecer los valores extremos Q/\sqrt{H} para la aplicación de cada turbina de diámetro D_e .

Conviene recordar la interpretación gráfica que se da a la expresión (4), como se muestra en la figura 1.

A partir de la ecuación (5) y, considerando varios valores para el diámetro del rodete, se llega a los resultados que se muestran en la tabla I, en la que se aprecia de forma significativa que hay una amplia superposición en el campo de aplicación de los diferentes rodetes. Por otro lado, es fácil demostrar que el cociente $(Q/\sqrt{H})_{\min}/(Q/\sqrt{H})_{\max}$ es equivalente a la condición más desfavorable de trabajo de la turbina a carga parcial P/P_{\max} , y todos los casos de la tabla I están entre 8,8 % y 9,2 %, los cuales resultan excesivamente bajos y desfavorables por la caída que se produce en la eficiencia de la turbina.

TABLA I

D_e	$(Q/\sqrt{H})_{\min}$	$(Q/\sqrt{H})_{\max}$
0,25	0,013	0,142
0,30	0,018	0,204
0,40	0,033	0,363
0,50	0,051	0,567
0,55	0,062	0,686
0,60	0,073	0,816
0,70	0,100	1,111
0,75	0,115	1,275

Atendiendo los aspectos antes mencionados, y que el campo de aplicación de las turbinas Michell-Banki, según coinciden varios autores, es para aproximadamente $0,013 \leq Q/\sqrt{H} \leq 0,686$, se llega a las conclusiones de la tabla II; a partir de la cual se confecciona el gráfico de la figura 2, que resume de forma sencilla la estandarización de las turbinas Michell-Banki, atendiendo a su adecuado funcionamiento hidráulico.

En la tabla II se aprecia que, considerando que se diseñe la turbina para (Q/\sqrt{H}) final y trabaje en (Q/\sqrt{H}) inicial, la

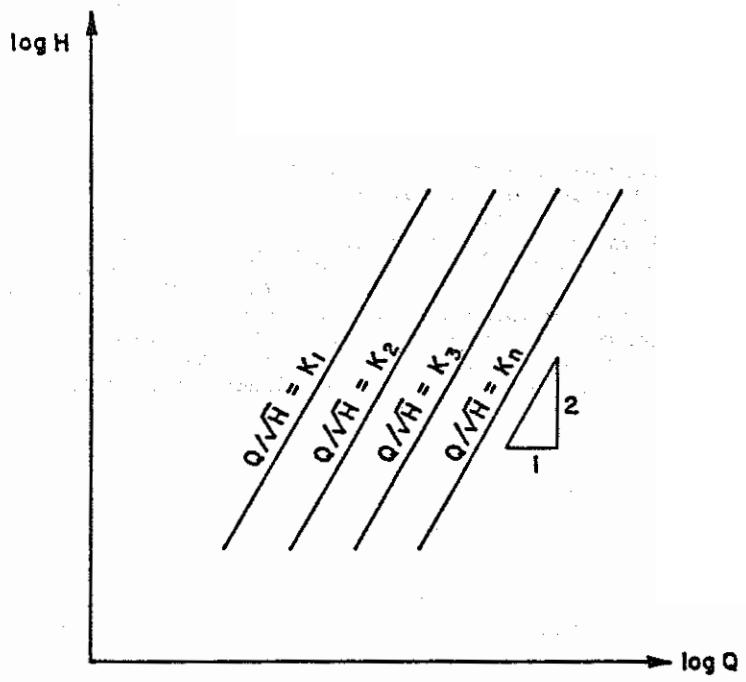


FIGURE 1

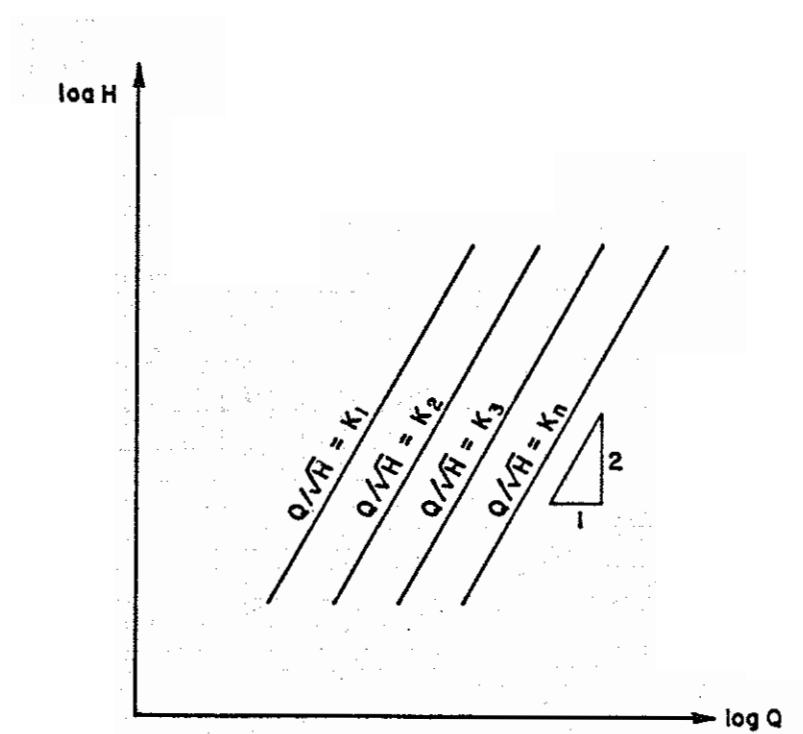


FIGURA 1

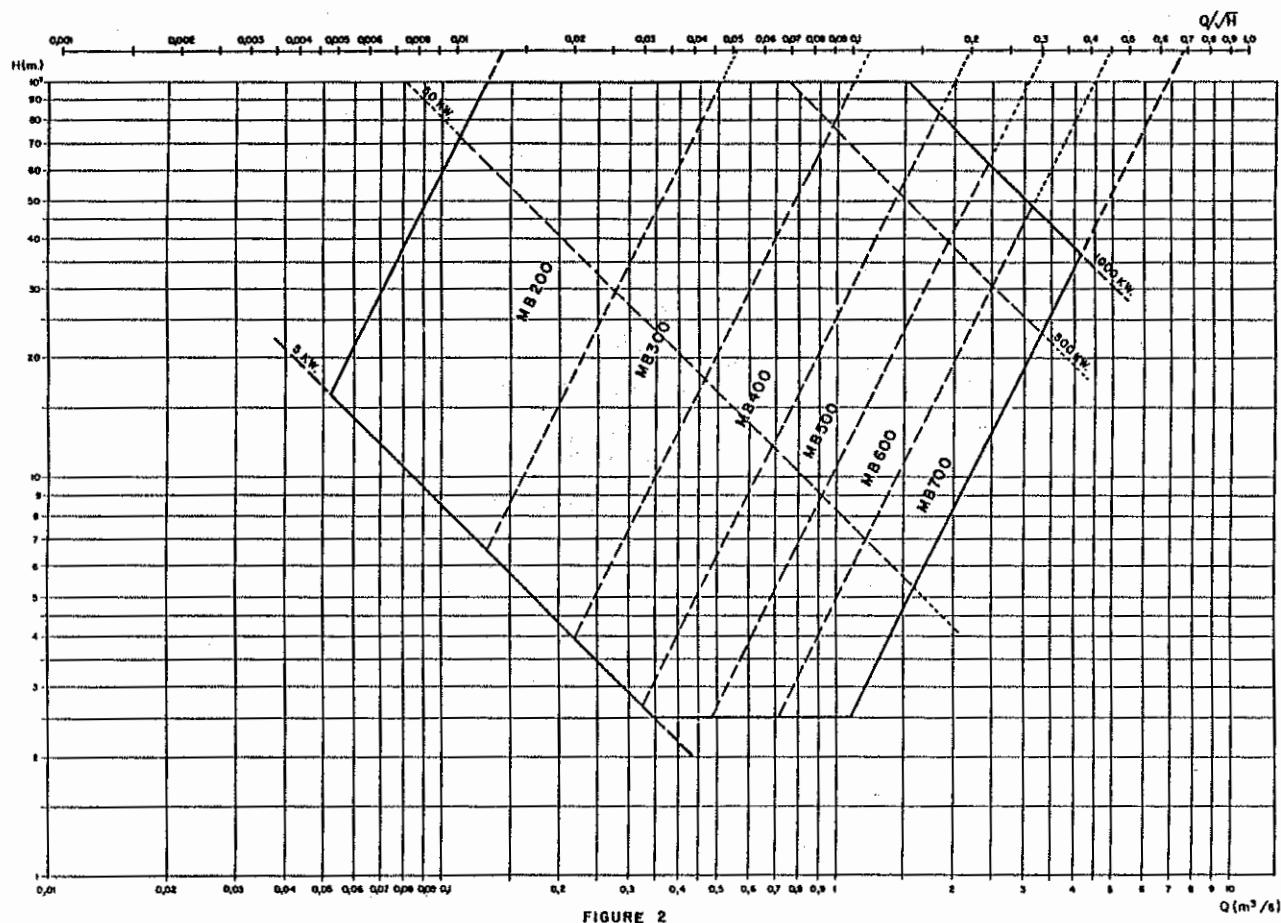


FIGURE 2

71

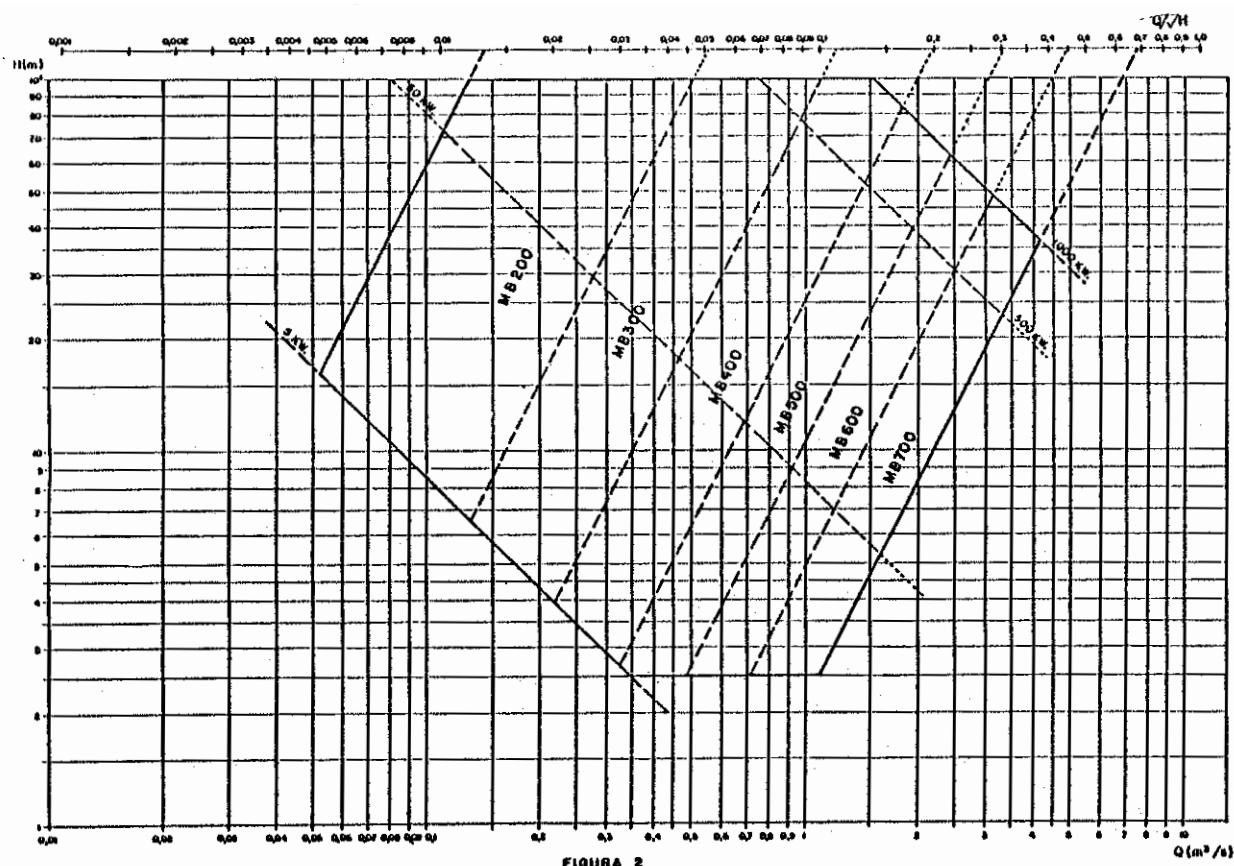


FIGURA 2

appears for diameters of 200 mm and 300 mm, and then only in small proportions.

TABLE II

D_e (mm)	(Q/\sqrt{H})	N_q	$(Q/\sqrt{H})_{init.}/(Q/\sqrt{H})_{final}$	efficiency (%)
200	0.013 - 0.051	22.7 - 45.0	0.25	76
300	0.051 - 0.111	30.0 - 44.3	0.46	79
400	0.111 - 0.198	33.2 - 44.3	0.56	80
500	0.198 - 0.309	35.5 - 44.3	0.64	80
600	0.309 - 0.445	36.9 - 44.3	0.69	80
700	0.445 - 0.686	38.0 - 47.2	0.65	80

3. STANDARDIZATION ACCORDING TO MECHANICAL CRITERIA

As for the mechanical functioning of the turbine, it is necessary to consider two different aspects in order to arrive at the definitive standardization.

3.1. Aspect Related to Variation in Power

It has been established that for any combination of flow Q and head H so that the Q/\sqrt{H} ratio remains constant, it is possible to use one single turbine, obtaining one same efficiency.

It is also known that there is a relation between the width of the injector (or the length of the runner) and the term Q/\sqrt{H} , expressed by:

$$B = \frac{0.96}{D_e} \frac{Q}{\sqrt{H}} \quad (6)$$

so that it is evident that for each Q/\sqrt{H} there is a corresponding runner B and only one, and vice versa.

Furthermore, it is known that the power which a hydroelectric station is capable of delivering is given by:

$$P = 9.81 Q H \eta \quad (7)$$

By making expressions (6) and (7) simultaneous:

$$P = 10.22 B D_e H^{3/2} \eta \quad (8)$$

afectación de la eficiencia de la turbina sólo se manifiesta para los diámetros 200 mm y 300 mm, y ello en pequeñas proporciones.

TABLA II

D_e (mm)	$\Delta(Q/\sqrt{H})$	N_q	$(Q/\sqrt{H})_{inic}/(Q/\sqrt{H})_{fin.}$	eficiencia (%)
200	0,013 - 0,051	22,7 - 45,0	0,25	76
300	0,051 - 0,111	30,0 - 44,3	0,46	79
400	0,111 - 0,198	33,2 - 44,3	0,56	80
500	0,198 - 0,309	35,5 - 44,3	0,64	80
600	0,309 - 0,445	36,9 - 44,3	0,69	80
700	0,445 - 0,686	38,0 - 47,2	0,65	80

3. ESTANDARIZACION SEGUN CRITERIOS MECANICOS

Atendiendo el funcionamiento mecánico de la turbina, se deben considerar dos aspectos diferentes para llegar a la definitiva estandarización.

3.1. Aspecto relacionado con la variación de potencia

Ha quedado establecido que para cualquier combinación de caudal Q y caída H , tal que permanezca constante la relación Q/\sqrt{H} , es posible utilizar una misma turbina obteniendo de ella la misma eficiencia.

También es conocido que existe relación entre el ancho del inyector (o largo del rodete) y el término Q/\sqrt{H} , expresado por :

$$B = \frac{0.96}{D_e} \frac{Q}{\sqrt{H}} \quad (6)$$

quedando evidente que para cada Q/\sqrt{H} corresponde un ancho de rodete B y sólo uno y viceversa.

Por otro lado, se conoce que la potencia que es capaz de entregar una central hidroeléctrica viene dada por :

$$P = 9,81 Q H \eta \quad (7)$$

simultaneando las expresiones (6) y (7) se llega a :

$$P = 10,22 B D_e H^{3/2} \eta \quad (8)$$

which establishes that the power output is directly proportional to the width of the runner. Then, in considering a Q/\sqrt{H} different from the design value, a variation in the power to be attained will be accepted, in the same proportion in which a variation is permitted in Q/\sqrt{H} .

Proceeding inversely, i.e., admitting a maximum variation in power, an interval $\Delta(Q/\sqrt{H})$ in which it is possible to use one single turbine will be set.

Thus, on the basis of the lowest values for Q/\sqrt{H} for each runner diameter D_e given in Table II, and accepting a maximum effect of 20% in the amount of power generated, i.e., an acceptable value from a practical standpoint, it is possible to define the different runner lengths shown in Table III for each runner diameter.

TABLE III

	200	300	400	500	600	700
1.	62.0	60.0	80.0	380.0	490.0	610.0
2.	75.0	73.0	97.0	475.0	594.0	757.0
3.	92.0	90.0	120.0	-	-	-
4.	112.0	110.0	145.0	-	-	-
5.	136.0	135.0	177.0	-	-	-
6.	165.0	165.0	215.0	-	-	-
7.	200.0	200.0	262.0	-	-	-
8.	-	245.0	320.0	-	-	-
9.	-	300.0	390.0	-	-	-

3.2. Aspect Related to Speed of Rotation

As has been indicated previously, the optimal speed of rotation for a Michell-Banki turbine is given by:

$$N = \frac{39.85 H^{1/2}}{D_e} \quad (2)$$

Now, from Figure 2, it can be seen that the turbines whose runners have a diameter of 200 mm would work with heads of up to 100 m; if these values are substituted in expression (2), N would be equal to 1992 rpm, which, even though this is mathematically acceptable is not acceptable from a mechanical standpoint, since it has been possible to prove in practice that the maximum speed of rotation of these turbines is approximately 1000 rpm.

en la que se establece que la potencia es directamente proporcional al ancho del rodete. Luego, al considerar la posibilidad de utilizar una turbina Michell-Banki cualquiera en una combinación Q/\sqrt{H} diferente a la de proyecto, se estará aceptando una variación de la potencia a lograr, en la misma proporción que se admite una variación de Q/\sqrt{H} .

Procediendo de forma inversa, esto es, si se admite una máxima variación de la potencia, se estará fijando el intervalo $\Delta(Q/\sqrt{H})$ en el que es posible utilizar una misma turbina.

Así, a partir de los valores extremos inferiores de Q/\sqrt{H} para cada diámetro del rodete D_e dados en la Tabla II, y aceptando una afectación máxima del 20% en la potencia generada, valor considerado aceptable desde el punto de vista práctico, se pueden definir los diferentes largos de rodete que se muestran en la Tabla III para cada diámetro del rodete.

TABLA III

	200	300	400	500	600	700
1.	62,0	60,0	80,0	380,0	490,0	610,0
2.	75,0	73,0	97,0	475,0	594,0	757,0
3.	92,0	90,0	120,0	-	-	-
4.	112,0	110,0	145,0	-	-	-
5.	136,0	135,0	177,0	-	-	-
6.	165,0	165,0	215,0	-	-	-
7.	200,0	200,0	262,0	-	-	-
8.	-	245,0	320,0	-	-	-
9.	-	300,0	390,0	-	-	-

3.2. Aspecto relacionado con la velocidad de rotación

Como ya fue indicado, la velocidad óptima de rotación de una turbina Michell-Banki viene dada por

$$N = \frac{39,85 H^{1/2}}{D_e} \quad (2)$$

ahora bien, de la Figura 2 se aprecia que la turbina de rodete de 200 mm de diámetro trabajaría con caídas de hasta 100 m; si estos valores se sustituyen en la expresión (2), resultaría $N = 1992$ rpm, la cual, si bien resulta aceptable matemáticamente, no lo es desde un punto de vista mecánico, ya que se ha podido comprobar en la práctica que la máxima velocidad de rotación de estas turbinas es de aproximadamente 1000 rpm.

Taking $N_{\max} = 1000$ rpm and using expression (2) yields the maximum value for head permitted in each runner, as shown in Table IV.

TABLE IV

Diameter, D_e (mm)	200	300	400	500	600	700
Maximum head, H (m)	25	55	100	100*	100*	100*

* Set according to these turbines' maximum permissible head.

4. STANDARDIZED TURBINES

Taking into consideration all of the aspects analyzed above, one arrives at the results presented in Figure 3, where the symbols used are interpreted as follows: in the three-digit numbers, the first indicates the runner diameter and the second two the number of order.

Chart No. 1 gives the calculations of the principal elements of the standardized turbines, from which the following observations can be made:

- a) As can be seen in lines 5 and 6, all of the turbines work in an acceptable interval of the specific number of revolutions N_q .
- b) The calculations corresponding to the guide vane were done considering that it would be built from bronze aluminum.
- c) The calculations corresponding to the runner were done considering that it would be built from nickel-chromium.
- d) The thickness of the runner blades was selected considering the minimum possible capable of withstanding the stress on the blade, in order to attain adequate economy.
- e) The diameter of the runner shaft was set in an attempt to reduce the variety of diameters among all of the turbines to the least number possible.

CONCLUSIONS

It has been shown that it is necessary to consider more than one aspect in order to obtain a more precise standardization of Michell-Banki turbines. Another important question is the evidence that, in order to obtain standardization with little diversity of turbines, it is necessary to accept an effect on the amount of power generated.

Tomando N máx. = 1000 rpm y con empleo de (2), se obtiene el máximo valor de caída admisible en cada rodete, según se muestra en la Tabla IV.

TABLA IV

Diámetro, D_e (mm)	200	300	400	500	600	700
Máxima caída, H (m)	25	55	100	100*	100*	100*

* Fijados por máxima caída admisible en estas turbinas.

4. TURBINAS ESTANDARIZADAS

Tomando en consideración todos los aspectos antes analizados, se llega a los resultados que se presentan en la Figura 3, en la cual la simbología empleada se interpreta de forma que en los números de tres dígitos, el primero de ellos indica el diámetro del rodete y los dos siguientes el número de orden.

En el Cuadro No. 1 se presenta el cálculo de los principales elementos de las turbinas estandarizadas, del cual se hacen las siguientes observaciones:

- a) Segundo se puede observar en las líneas 5 y 6, todas las turbinas trabajan en un intervalo aceptable del número específico de revoluciones N_q .
- b) Los cálculos correspondientes al álabe directriz se hicieron considerando que éste se construirá de bronce al aluminio.
- c) Los cálculos correspondientes al rodete se hicieron considerando que éste se construiría de acero al cromoníquel.
- d) El espesor de los álabes del rodete se seleccionó considerando el mínimo posible capaz de resistir el esfuerzo del álabe, con el fin de lograr economía adecuada.
- e) El diámetro del eje del rodete se fijó tratando de reducir al mínimo posible la variedad de diámetros para todas las turbinas.

CONCLUSIONES

Ha quedado demostrada la necesidad de considerar más de un aspecto para lograr una más precisa estandarización de las turbinas Michell-Banki. Otra cuestión importante es la evidencia de que, para obtener una estandarización con poca diversidad de turbinas, se deberá aceptar una afectación en la potencia generada.

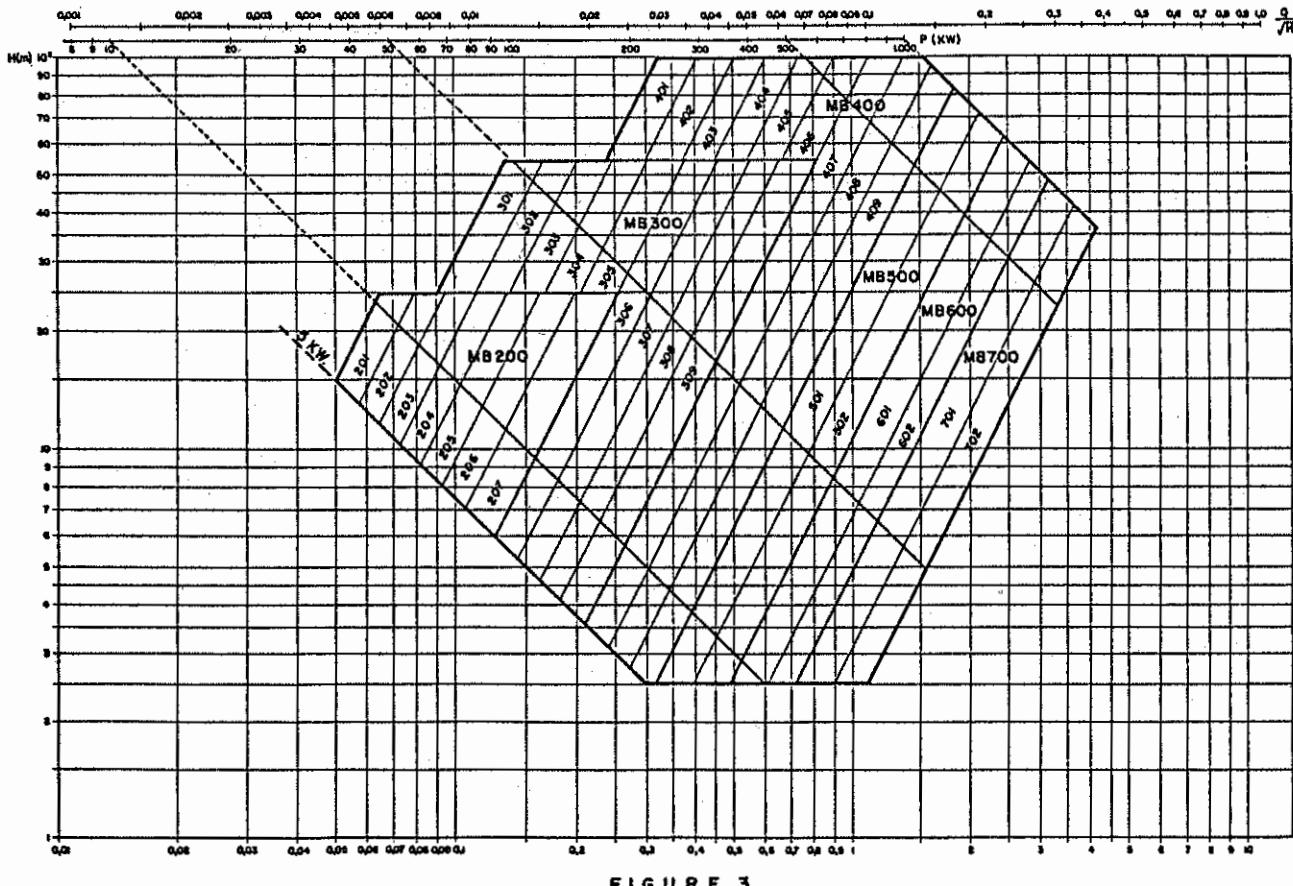


FIGURE 3

69

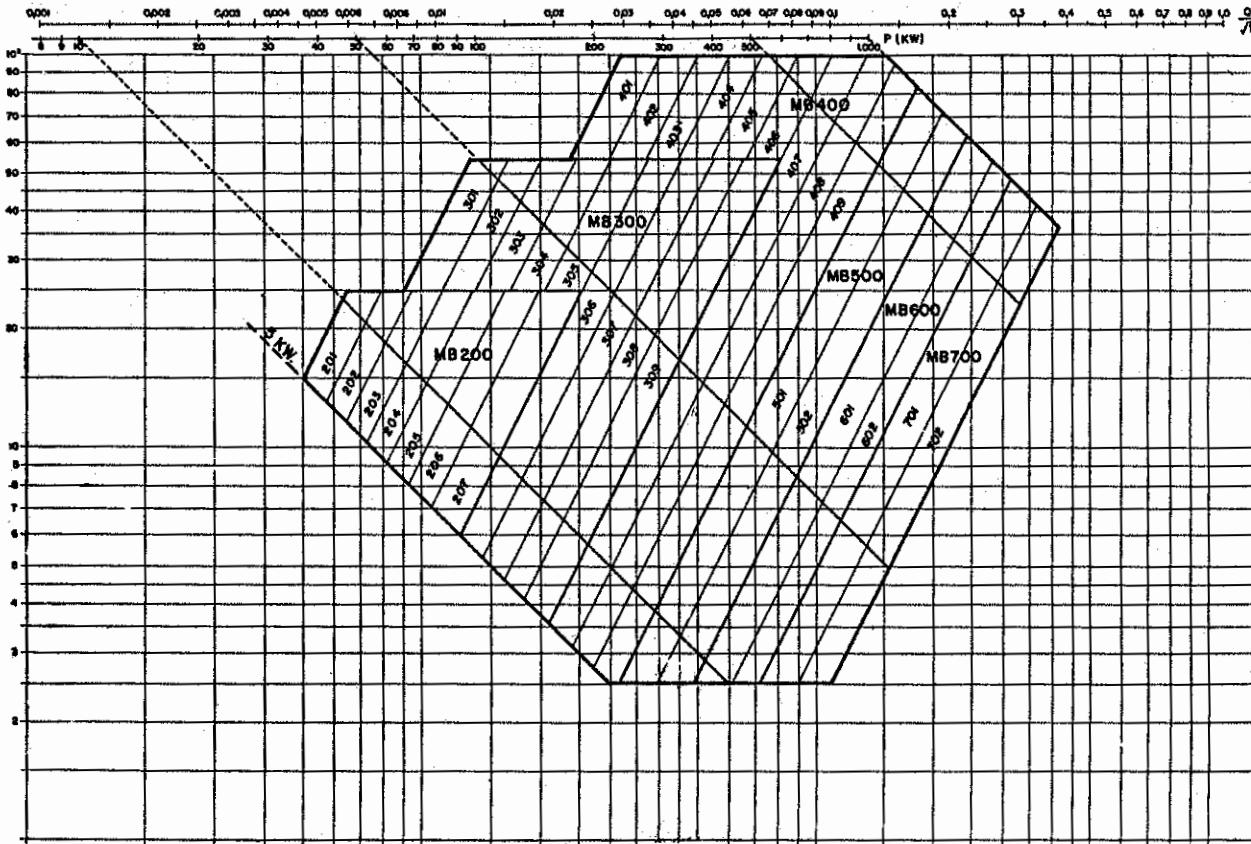


FIGURA 3

CALCULATION OF THE MAIN COMPONENTS IN OLADE'S STANDARDIZED CROSS-FLOW TURBINES

ELEMENT	TURBINE	201	202	203	204	205	206	207	301	302	303	304	305	306	307	308	309	401	402	403	404	405	406	407	408	409	501	502	601	602	701	702	
1. MAXIMUM DESIGN FLOW, Q(m ³ /s)		0,064	0,076	0,096	0,117	0,142	0,172	0,200	0,139	0,169	0,206	0,255	0,310	0,383	0,464	0,568	0,695	0,333	0,404	0,500	0,504	0,738	0,896	1,092	1,333	1,584	1,803	2,099	2,431	2,728	3,082	3,577	
2. MAXIMUM DESIGN LOAD, H (m)		25	25	25	25	25	25	25	55	55	55	55	55	55	55	55	55	100	100	100	100	100	100	100	100	95	85	72	62	54	48	42	
3. MAXIMUM POWER, P _t (kW)		10,7	13,0	16,0	19,5	23,7	26,7	34,7	51,0	62,0	76,3	93,6	114,6	140,5	170,2	206,4	255,0	222,3	289,5	333,5	402,9	492,3	597,7	726,4	889,2	1000	1000	1000	1000	1000	1000		
4. MAXIMUM SPEED ROTATION, N (RPM)		998	998	996	996	996	996	996	985	985	985	985	985	985	985	985	985	996	996	996	996	996	996	996	996	971	726	876	523	488	394	369	
5. SPECIFIC NUMBER, N _q minimum		22,9	24,9	27,6	30,5	33,6	36,9	40,6	16,2	20,0	22,2	24,6	27,3	30,2	33,2	36,8	40,6	18,2	20,0	22,3	24,5	27,0	29,6	32,9	36,4	40,2	35,4	39,6	36,9	40,5	37,9	42,3	
6. SPECIFIC NUMBER, N _q maximum		24,9	27,6	30,5	33,6	36,9	40,6	45,4	20,0	22,2	24,6	27,3	30,2	33,2	36,8	40,6	44,6	20,0	22,3	24,5	27,0	29,8	32,9	36,4	40,2	44,6	39,6	44,4	40,5	44,6	42,3	46,9	
7. INJECTOR WIDTH, B (mm)		62,0	75,0	92,0	112,0	136,0	165,0	200,0	40,0	73,0	90,0	110,0	135,0	165,0	200,0	245,0	300,0	80,0	97,0	120,0	145,0	177,0	215,0	262,0	320,0	390,0	360,0	475,0	494,0	594,0	610,0	757,0	
8. MAXIMUM TORQUE WITH BLADE REGULATION, T (kg-m)		1,98	2,42	2,98	3,63	4,40	5,35	6,45	9,59	11,66	14,34	17,69	21,99	26,42	32,00	39,18	47,93	41,29	50,10	62,00	74,50	91,51	111,10	155,41	165,29	191,44	254,60	276,06	356,04	372,87	463,30	505,04	
9. DIAMETER OF BLADE SHAFT, d (mm)		12	13	14	15	16	17	18	20	21	23	25	27	29	30	33	35	33	35	36	40	43	46	49	52	56	60	62	67	69	74	76	
10. RUNNER LENGTH, Br (mm)		62,0	75,0	92,0	112,0	136,0	165,0	200,0	60,0	73,0	90,0	110,0	135,0	165,0	200,0	245,0	300,0	80,0	97,0	120,0	145,0	177,0	215,0	262,0	320,0	390,0	360,0	475,0	494,0	594,0	610,0	757,0	
11. NUMBER OF BLADES PER RUNNER		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24			
12. BLADE THICKNESS, e (mm)		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4	6	3	3	3	3	4	6	6	6	6	6	6	6		
13. BLADE WIDTH (LENGTH OF ARC), L _a (mm)		39,8	39,8	39,6	39,6	39,8	39,8	39,8	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9	59,6	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	99,6	99,6	119,5	139,4	139,4	
14. THICKNESS END RUNNER DISKS, e' (mm)		12	12	12	12	12	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15	16	19			
15. FORCE ACTING ON BLADE, F (KG)		14,88	16,14	22,32	27,20	33,02	40,00	46,36	47,93	56,28	71,73	87,94	107,94	132,00	160,00	193,88	238,67	154,84	187,86	232,50	290,86	343,17	416,64	507,76	519,84	717,91	763,81	828,19	930,10	932,17	992,20	1077,9	
16. MAXIMUM STRESS ON BLADE, σ _{MAX} (KG/mm ²)		0,81	0,90	1,35	2,00	2,96	4,34	6,37	0,91	1,34	2,04	3,06	4,60	6,69	7,02	8,05	8,07	1,49	2,19	3,35	4,89	7,28	8,29	8,50	6,34	8,95	5,88	7,97	6,09	7,67	5,84	7,67	
17. THICKNESS INTERMEDIATE RUNNER DISKS, e'' (mm)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10	10	10	10	10		
18. RUNNER WEIGHT, Pr (KG)		6,8	7,1	7,3	7,6	8,0	8,4	8,9	16,9	17,2	17,6	18,0	18,5	19,3	22,5	26,6	35,8	31,2	32,0	33,0	34,1	35,6	40,5	51,2	63,3	72,6	101,4	112,0	160,0	173,5	241,3	264,3	
19. TANGENTIAL RUNNER FORCE, Fr (KG)		104,6	127,1	156,5	190,7	231,8	280,7	339,3	336,2	406,7	503,0	617,0	756,8	926,2	1122,0	1573,8	1696,0	1086,0	1517,7	1630,7	1970,0	2407,1	2922,5	3561,6	4347,8	5015,4	5366,4	5763,3	6207,6	6533,0	7063,1	7541,6	
20. MAXIMUM RUNNER BENDING MOMENT, M _{MAX} (KG-m)		1,1	1,6	2,4	3,6	5,2	7,7	11,3	3,4	5,0	7,9	11,3	17,0	25,5	37,4	56,1	84,1	14,5	21,3	32,6	47,6	71,0	104,7	155,5	23,9	326,0	339,9	456,3	511,3	658,9	718,5	932,1	
21. MAXIMUM RUNNER TORSIONAL MOMENT, T _{MAX} (KG-m)		10,5	12,7	15,6	18,1	23,2	28,1	33,9	50,4	61,3	75,4	92,6	133,5	156,9	168,3	206,1	252,2	217,2	263,5	326,1	394,0	481,4	504,5	712,3	869,6	1003,1	1350,9	1440,8	1662,3	1993,9	2472,1	2639,6	
22. MINIMUM RUNNER SHAFT DIAMETER, d _r (mm)		26	26	30	32	35	37	40	44	47	51	54	58	63	67	72	78	72	77	82	88	94	101	108	117	124	135	159	181	156	166	172	
23. MAXIMUM RUNNER SHAFT DIAMETER, d _r (mm)		65,6	63,5	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2
24. SELECTED RUNNER SHAFT DIAMETER, d (mm)		35	35	35	35	35	45	45	45	45	55	55	55	55	70	70	70	80	80	85	85	85	105	105	125	125	145	145	160	160	175	175	

CHART 1

CALCULO DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE LAS TURBINAS OLADE DE FLUJO CRUZADO ESTANDARIZADAS

ELEMENTO	TURBINA	201	202	203	204	205	206	207	301	302	303	304	305	306	307	308	309	401	402	403	404	405	406	407	408	409	501	502	601	602	701	702
1. GASTO MAXIMO DE DISEÑO, Q (m ³ /s)	0,064	0,078	0,096	0,117	0,142	0,172	0,206	0,139	0,169	0,206	0,255	0,313	0,363	0,464	0,568	0,689	0,333	0,404	0,500	0,604	0,756	0,996	1,092	1,333	1,594	1,803	2,099	2,431	2,726	3,082	3,877	
2. CARGA MAXIMA DE DISEÑO, N (N)	25	25	25	25	25	25	25	55	55	55	55	55	55	55	55	55	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3. POTENCIA MAXIMA, P _t (kW)	10,7	15,0	16,0	16,0	22,7	26,7	34,7	51,0	62,0	76,3	93,6	114,8	140,5	170,2	206,4	255,0	222,1	269,5	333,5	402,9	492,3	597,7	728,4	889,2	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
4. VELOCIDAD MAXIMA ROTACION, N (RPM)	988	956	996	996	996	996	996	985	985	985	985	985	985	985	985	985	996	996	996	996	996	996	996	996	971	726	878	923	488	394	369	
5. NUMERO ESPECIFICO, N _d MINIMO	22,5	24,9	27,6	30,5	33,6	36,9	40,6	18,2	20,0	22,2	24,6	27,3	30,2	33,2	36,8	40,5	18,2	20,0	22,3	24,5	27,0	29,8	32,8	36,4	40,2	39,4	39,6	40,5	37,9	42,3		
6. NUMERO ESPECIFICO, N _d MAXIMO	24,9	27,6	30,5	33,6	36,9	40,6	45,4	20,0	22,2	24,6	27,3	30,2	33,2	36,8	40,5	44,8	20,0	22,3	24,5	27,0	29,8	32,8	36,4	40,2	44,6	39,6	44,4	40,5	44,6	42,3	46,9	
7. ANCHO DEL INYECTOR, B (mm)	62,0	75,0	92,0	112,0	136,0	165,0	200,0	60,0	73,0	90,0	110,0	135,0	165,0	200,0	245,0	300,0	80,0	97,0	120,0	145,0	177,0	215,0	262,0	320,0	380,0	380,0	475,0	494,0	594,0	510,0	787,0	
8. TORQUE MAXIMO & REGULACION DEL ALABE, T (kg-m)	1,08	2,42	4,98	5,63	4,40	5,35	6,45	9,59	11,64	14,34	17,59	21,59	26,42	32,00	38,18	47,93	41,29	50,10	62,00	74,90	91,31	111,10	155,41	185,29	191,44	224,60	278,04	306,04	372,87	463,30	500,04	
9. DIAMETRO DEL EJE DEL ALABE, d (mm)	12	13	14	15	16	17	18	20	21	23	25	27	29	30	33	35	33	35	38	40	43	46	49	52	55	60	62	67	59	74	76	
10. LONGITUD DEL RODETE, Br (mm)	62,0	75,0	92,0	112,0	136,0	165,0	200,0	60,0	73,0	90,0	110,0	135,0	165,0	200,0	245,0	300,0	80,0	97,0	120,0	145,0	177,0	215,0	262,0	320,0	380,0	380,0	475,0	494,0	594,0	510,0	787,0	
11. NUMERO DE ALABES POR RODETE	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
12. ESPESOR DE ALABES, e (mm)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4	6	3	3	3	3	3	4	6	6	6	6	6	6		
13. ANCHO DEL ALABE (LONGITUD DEL ARCO), L _a (mm)	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9	59,9	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	99,6	119,5	139,4	139,4			
14. ESPESOR DISCOS EXTREMOS RODETE, e' (mm)	12	12	12	12	12	12	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14		
15. FUERZA QUE ACTUA POR ALABE, F (kg.)	14,88	16,14	22,38	27,20	33,02	40,00	46,36	47,93	56,28	71,73	87,94	107,94	122,08	160,00	195,98	239,67	154,84	162,88	232,50	280,96	343,17	416,64	507,78	619,94	717,31	763,81	828,19	880,10	932,77	982,93	1073,07	
16. ESPFUERZO MAXIMO DEL ALABE, σ _{max} (kg/mm ²)	0,81	0,90	1,35	2,00	2,98	4,34	6,37	0,81	1,34	2,04	3,06	4,60	6,89	7,02	8,05	8,07	1,49	2,19	3,35	4,89	7,29	8,29	8,00	8,34	8,85	5,98	7,97	8,08	7,87	5,84	7,87	
17. ESPESOR DISCOS INTERMEDIOS RODETE, e'' (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
18. PESO DEL RODETE, P _r (kg)	6,8	7,1	7,3	7,6	8,0	8,4	8,9	16,9	17,2	17,6	18,0	16,6	19,3	22,3	26,8	35,8	31,2	32,0	33,0	34,1	35,6	40,5	51,2	65,3	72,5	101,4	112,0	160,0	173,5	241,1	264,3	
19. FUERZA TANGENCIAL DEL RODETE, F _T (kg)	104,6	127,1	156,3	190,7	231,8	280,7	330,3	336,2	408,7	503,0	617,0	756,8	925,2	1122,0	1373,8	1681,0	1086,0	1517,7	1630,7	1970,0	2040,7	2322,5	3361,6	4547,6	5015,4	5366,4	5763,3	6202,8	6653,0	7063,7	7540,8	
20. MOMENTO FLECTOR MAXIMO DEL RODETE, M _{max} (kg-m)	1,3	1,8	2,4	3,6	6,2	7,7	11,3	3,4	5,0	7,5	11,3	17,0	25,5	37,4	56,1	64,1	14,5	21,3	32,0	47,6	71,0	104,7	155,5	231,9	326,0	359,8	406,3	511,3	608,9	716,6	852,1	
21. MOMENTO TORSON MAXIMO DEL RODETE, T _{max} (kg-m)	10,5	12,7	15,6	18,1	23,2	28,1	33,9	50,4	61,3	75,4	92,6	133,5	158,9	165,3	206,1	252,2	217,2	263,5	326,1	394,0	481,4	584,5	712,3	869,6	1003,1	1050,9	1440,9	1662,3	1995,9	2472,7	2639,6	
22. DIAMETRO MINIMO DEL EJE DEL RODETE, d _r (mm)	25	26	30	32	35	37	40	44	47	51	54	58	63	67	72	78	72	77	82	88	94	101	108	117	124	135	139	151	156	172		
23. DIAMETRO MAXIMO DEL EJE DEL RODETE, d _r (mm)	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	131,2	164	196,8	196,8	229,6	229,6		
24. DIAMETRO SELECCIONADO DEL EJE DEL RODETE, d (mm)	35	35	35	35	45	45	45	55	55	55	55	55	55	55	55	70	70	70	80	80	85	85	105	105	125	125	145	145	160	175	175	

CUADRO 1

Finally, it is worthwhile to note two important considerations: one, that the standardization presented is not absolute and can therefore be modified according to the criteria of the project designer, as a function of his objectives, for example: to obtain the maximum amount of power in one case, to simplify the production in series without worrying about the effect on power output, etc.; and two, to note that in Volume VIII of the Manual cited at the beginning of this paper, there is a complete set of detailed drawings permitting the full construction of the 31 standardized turbines.

Finalmente, es oportuno señalar dos consideraciones importantes, una , que la estandarización presentada no es absoluta y por tanto puede ser modificada a juicio del proyectista en función de sus objetivos, por ejemplo: obtener al máximo de potencia en un caso, simplificar la producción en serie sin preocupar la afectación de potencia, etc; en segundo lugar, destacar que en el Volumen VIII del Manual citado al inicio de este trabajo, se encuentra un juego completo de planos de detalles que permiten la total construcción de las 31 turbinas estandarizadas.

SUBSCRIPTION FORM

NAME _____
TITLE _____
INSTITUTION _____
ADDRESS _____
CITY/STATE OR PROVINCE _____
COUNTRY _____

PLEASE SEND ME THE **ENERGY MAGAZINE**. I AM ENCLOSING A CHECK
IN THE AMOUNT OF US\$ _____ ACCORDING TO THE
FOLLOWING SCHEDULE:*

ONE YEAR (3 ISSUES)	US\$ 50.00
TWO YEARS (6 ISSUES)	US\$ 90.00

MAKE CHECK PAYABLE TO: **OLADE**

CUT OUT AND SEND TO "**ENERGY MAGAZINE**", OLADE,
P.O. BOX 6413 C.C.I., QUITO, ECUADOR.

* PRICES VALID UNTIL 31.12.86

FORMULARIO DE SUSCRIPCION

NOMBRE _____

TITULO _____

INSTITUCION _____

DIRECCION _____

CIUDAD/ESTADO/PROVINCIA _____

PAIS _____

AGRADEZCO ENVIARME LA **REVISTA ENERGETICA**. ADJUNTO CHEQUE
POR LA CANTIDAD DE US\$ (O SUCRES) _____ SEGUN
LA ESCALA SIGUIENTE:*

	ECUADOR	OTROS PAISES
UN AÑO (3 EDICIONES)	S/. 8.000,00	US\$50,00
DOS AÑOS (6 EDICIONES)	S/. 15.000,00	US\$90,00

ENVIAR CHEQUE A NOMBRE DE: **OLADE**

RECORTAR Y ENVIAR A: "**REVISTA ENERGETICA**", OLADE,
CASILLA DE CORREO 6413 C.C.I., QUITO, ECUADOR.

* PRECIOS VIGENTES HASTA EL 31.12.86