

881217



**UNIVERSIDAD ANAHUAC**

**ESCUELA DE INGENIERIA  
INCORPORADA A LA U.N.A.M.**

4  
2ej

**EL MOLINO DE VIENTO COMO FUENTE DE  
ENERGIA PARA EL BOMBEO DE AGUA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
AREA INDUSTRIAL**

**P R E S E N T A :**

**HAROLD JULIAN VELAZQUEZ HOLGIN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**MEXICO, D.F.**

**1985**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

EL MOLINO DE VIENTO COMO FUENTE DE ENERGIA  
PARA EL BOMBEO DE AGUA

CONTENIDO

	Págs.
INTRODUCCION	1
i.    Antecedentes	1
ii.   Objetivos	2
iii.  Alcances	4
1.    DISPONIBILIDAD Y USOS DEL AGUA EN MEXICO	5
1.1  FUENTES DE RECURSOS HIDRAULICOS	5
1.1.1  Precipitación pluvial	5
1.1.2  Almacenamientos naturales y artificiales	10
1.1.3  Extracción subterránea	15
1.2  USOS DEL AGUA	21
1.2.1  Agricultura y ganadería	22
1.2.2  Uso urbano	26
1.2.3  Uso industrial	27
1.2.4  Generación de energía	30
1.3  LA IMPORTANCIA DEL MOLINO DE VIENTO DENTRO DEL SISTEMA DE FUENTES Y APLICACIONES DE - LOS RECURSOS HIDRAULICOS	31

	Págs.
2. LOS MOLINOS DE VIENTO	34
2.1 LAS FUENTES DE ENERGIA NO CONVENCIONALES	34
2.2 CONCEPTOS GENERALES DE ENERGIA EOLICA	36
2.3 BREVE HISTORIA DEL DESARROLLO DE MOLINOS PARA APROVECHAR LA ENERGIA EOLICA	38
3. EL MOLINO DEL VIENTO DEL INSTITUTO DE <u>IN</u> <u>VESTIGACIONES ELECTRICAS: APLICACIONES Y</u> <u>EVALUACION CON RESPECTO A OTRAS ALTERNA-</u> <u>TIVAS</u>	42
3.1 EL MOLINO DE VIENTO DEL INSTITUTO DE <u>IN</u> <u>VESTIGACIONES ELECTRICAS</u>	42
3.1.1 Criterios para el diseño	42
3.1.2 Descripción del molino y costos	44
3.2 CALCULO DE LA ENERGIA PRODUCIDA POR EL -- MOLINO	50
3.2.1 Cálculo de la potencia del sistema	52
3.2.2 Bases para la estimación de la <u>dis</u> <u>tribución de velocidades del vien</u> <u>to</u>	56
3.2.3 Cálculo de la energía disponible - con distribuciones de velocidad de viento determinadas (obtención de_ tablas de energía)	58

	Págs.
3.3 APLICACIONES	61
3.3.1 Uso de tablas para determinar los volúmenes de agua que se pueden extraer	61
3.3.2 Necesidades de agua para algunas aplicaciones	63
3.3.3 Análisis del viento en México	66
3.3.4 Estudio de casos específicos	68
3.3.5 Conclusiones	72
3.4 EVALUACION DEL MOLINO CON RESPECTO A OTRAS - ALTERNATIVAS	73
3.4.1 Alternativas de inversión	73
3.4.1.1 Subestación rural	73
3.4.1.2 Planta diesel	74
3.4.1.3 Molino de Viento	75
3.4.2 Definición de una metodología para hacer una comparación financiera entre las alternativas	76
3.4.2.1 Marco de referencia	76
3.4.2.2 Definición de la metodología	77
3.4.2.3 Definición de variables que intervienen en la comparación financiera	79
3.4.3 Comparación financiera	83
3.4.4 Factores no reducibles a términos monetarios	87

	Págs.
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
ANEXOS	96
NOTAS	117
BIBLIOGRAFIA	121

INDICE DE CUADROS

	Págs.
CUADRO No. 1	
LLUVIA MEDIA ANUAL EN MEXICO POR ENTIDADES FEDERATIVAS 1931-1970	7
CUADRO No. 2	
PRESAS CONSTRUIDAS EN LA REPUBLICA MEXICANA EN EL PERIODO DE 1500 A 1980	11
CUADRO No. 3	
PRESAS EXISTENTES EN LAS DIFERENTES ENTIDADES FEDERATIVAS DE LA REPUBLICA MEXICANA (HASTA 1980)	14
CUADRO No. 4	
BALANCE DE EXTRACCION Y RECARGA ANUAL POR REGIONES	18
CUADRO No. 5	
ESTIMACION DE POZOS TEORICOS	20
CUADRO No. 6	
VOLUMENES TOTALES DISTRIBUIDOS PARA TIERRAS DE RIEGO EN 1978	24
CUADRO No. 7	
PROYECCION DE EXTRACCION DE AGUA PARA RIEGO, USOS PECUARIOS Y ACUACULTURA	25

	Págs.
CUADRO No. 8	
USUARIOS DE AGUA POR TIPO DE INDUSTRIA	29
CUADRO No. 9	
FUENTES Y USOS DEL AGUA	31
CUADRO No. 10	
VOLUMEN DE AGUA CONSUMIDO POR TIPO DE CULTIVO	65
CUADRO No. 11	
DISTRIBUCION DE LOS VIENTOS EN MEXICO	67
CUADRO No. 12	
VOLUMENES DE AGUA A OBTENER EN 6 ESTADOS	69
CUADRO No. 13	
NECESIDADES DE AGUA PARA LA AGRICULTURA Y LA GANADERIA QUE SATISFACE EL MOLINO (DOS EJEMPLOS)	71



## I N T R O D U C C I O N

### i Antecedentes

En un estudio desarrollado por el Club de Roma - se determinaron cinco factores de los cuales dependía, - y que en última instancia limitaban, el crecimiento en\_ este planeta. Estos fueron los siguientes: (1)

- 1.- El crecimiento de la población.
- 2.- La producción agrícola.
- 3.- La producción industrial.
- 4.- Los recursos naturales disponibles.
- 5.- El equilibrio ecológico.

En este estudio se concluye que la violencia a - escala mundial y las tensiones internacionales se deben a que en un mundo con recursos naturales limitados, se\_ han implantado modelos de desarrollo económico que fo-- mentan el incremento del consumo y que dependen para - satisfacer sus necesidades de sistemas internacionales\_ de comercio. Así mismo hace resaltar los efectos ecoló\_ gicos que han tenido las tecnologías usadas en la pro-- ducción en masa. La alternativa propuesta a tales pro-- blemas era una reorientación del desarrollo económico - dirigido hacia una mayor autosuficiencia en las necesi-

dades básicas de los países, el uso de tecnologías más intensivas en mano de obra y menos agresivas a los sistemas ecológicos.

Dentro de este ánimo se buscó el tema sobre el cual versa el presente trabajo. El molino de viento resultaba un ejemplo representativo de una tecnología sencilla usada para producir energía sin deteriorar el medio ambiente y sin usar recursos no renovables. Además, esta energía podía usarse en el bombeo de agua, lo cual lo ligaba a uno de los recursos básicos del hombre. Debido a lo anterior, se consideró que su evaluación, como una solución para proveer de energía a los pozos de agua, haría posible el considerar a fuentes de energía no convencionales en la satisfacción de las necesidades del país.

## ii      Objetivos

El objetivo del presente trabajo es demostrar -- que el molino de viento, como medio para proveer energía para el bombeo de agua, puede ser la mejor alternativa para ciertas necesidades.

Para ello hubo que analizar, primeramente, el -- sistema que componen las fuentes de recursos hidráulicos y la distribución por volumen que se le da al uso --

del agua. En esta parte se detectaron las limitaciones y las inmensas demandas que existen de uno de los factores más determinantes para el desarrollo y subsistencia del país.

Dentro de este sistema se ubicó la importancia de la extracción subterránea como fuente de recursos -- hidráulicos y los usos para los cuales era más importante.

En la segunda parte, se presentan las fuentes de energía no convencionales y, específicamente, a los molinos de viento para aprovechar la energía eólica.

La tercera parte, consiste en un análisis detallado del molino de viento desarrollado por el Departamento de Fuentes de Energía no convencionales del Instituto de Investigaciones Eléctricas. Primeramente se describen las ventajas en el diseño de este molino con respecto del molino de aspas múltiples tipo americano. En seguida, se determinó la cantidad de energía que podía proveer el molino para que con base en ciertas condiciones específicas que pueden considerarse como típicas en el país, obtener la cantidad de agua que podía bombear y determinar qué necesidades podían satisfacerse. Para finalizar la tercera parte se analizó la conveniencia de adquirir un molino en lugar de las alterna

tivas convencionales para un consumidor potencial.

### iii Alcances

El presente trabajo está orientado al desarrollo de una metodología para evaluar al molino de viento como fuente de energía dentro de un contexto práctico. - Por lo anterior, se limita a definir el tipo de actividades que el agua bombeada con su energía podría satisfacer, así como las condiciones específicas dentro de las cuales es superior a otros sistemas para proveer -- energía. Sin embargo, sus conclusiones pueden servir - de punto de partida para estudiar las formas especifi-- cas para producir y comercializar esta fuente de ener-- gía.

## 1. DISPONIBILIDAD Y USOS DEL AGUA EN MEXICO

Con el objeto de ubicar el molino de viento como medio para proveer energía eléctrica para el bombeo de agua dentro del contexto general de fuentes de abastecimiento y usos del agua, se desarrollará un análisis en este capítulo. Con base en éste, se obtendrá la información necesaria para medir la relevancia de la extracción de agua de pozos, los usos para los que se consumen los mayores volúmenes de agua y, finalmente, para conocer las características de los pozos en las diferentes regiones de México. Esto último será de utilidad para conocer la eficiencia del molino en pozos a diferentes profundidades.

### 1.1 FUENTES DE RECURSOS HIDRAULICOS

#### 1.1.1 Precipitación Pluvial

Las lluvias son el abastecedor primario de agua. Estas determinan el nivel de agua en los lagos, ríos, presas y pozos que un territorio puede explotar. Debido a esto, es necesario entender el comportamiento de las lluvias en México para medir la importancia de las otras fuentes de recursos hidráulicos.

México es considerado, por su temperatura y distribución espacial y temporal de sus lluvias, como un territorio, con: <sup>(2)</sup>

31% de zonas desérticas y áridas

36% de zonas semiáridas

33% de zonas subhúmedas y húmedas.

La clasificación anterior no está hecha solamente en función de la cantidad de lluvia, sino de la distribución geográfica o espacial y la distribución a lo largo del año que esta tenga.

Para profundizar en el por qué de la clasificación tan alta de zonas semiáridas y desérticas, el cuadro número 1 muestra los promedios de lluvia recibidos en 40 años por Estado en la República Mexicana (Cuadro No. 1).

En dicho cuadro se puede observar, la distribución espacial de las lluvias está concentrada en el Sureste del país con grandes contrastes con el Norte. Los Estados fronterizos del Norte, que ocupan el 40.5% de la superficie, reciben el 20.8% de las lluvias; los Estados del Sureste que ocupan el 12% de la superficie reciben el 24%.

En general la Meseta del Norte promedió 200 mm.

CUADRO No. 1  
 LLUVIA MEDIA ANUAL EN MEXICO POR ENTIDADES FEDERATIVAS  
 1931 - 1970

ENTIDAD:	Lluvia media anual		
	Area Km <sup>2</sup>	Volumen 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Lámina mm
Totales:	1 967 183	1 530 535	777
Aguascalientes	5 589	3 070	549
Baja California Norte	70 113	10 280	147
Baja California Sur	73 677	10 669	145
Campeche	56 237	70 422	1 252
Coahuila	151 571	49 462	326
Colima	5 455	5 236	960
Chiapas	73 887	151 091	2 045
Chihuahua	247 037	104 561	423
Distrito Federal	1 499	1 345	897
Durango	119 648	72 654	607
Guanajuato	30 589	19 014	622
Guerrero	63 794	81 625	1 280
Hidalgo	20 987	18 795	896
Jalisco	80 137	74 643	931
México	21 461	21 129	985
Michoacán	59 864	56 177	938
Morelos	4 941	5 164	1 045
Nayarit	27 621	32 761	1 186
Nuevo León	64 555	32 999	511
Oaxaca	95 364	146 021	1 531
Puebla	33 919	36 464	1 075
Querétaro	11 769	7 930	674
Quintana Roo	41 517	50 708	1 221
San Luis Potosí	62 848	39 313	625
Sinaloa	58 092	43 659	752
Sonora	184 934	65 328	353
Tabasco	24 661	51 520	2 130
Tamaulipas	79 829	56 090	713
Tlaxcala	3 914	2 928	748
Veracruz	72 815	127 535	1 751
Yucatán	43 769	45 038	1 029
Zacatecas	75 040	36 874	491

Fuente: Delgado Hernández, Felipe. "Clasificación de las Tierras Laborables de Temporales". *Ennotecnia Agrícola*, Vol. IV Núm. 11 Dirección General de Economía Agrícola, Subsecretaría de Agricultura y Ganadería, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, Noviembre 1980, p. 13.

La Meseta Central alrededor de 600 mm. y las costas de Chiapas y Tabasco más de 2,000 mm.

Estas cifras de lo que se considera normal varían de un año a otro. En el Norte del país esta variabilidad alcanza sus valores más altos, como por ejemplo en Santa Rosalía, B. C., donde varía de 0 a 330% de la precipitación normal. En el Sureste del país la lluvia es más estable, con variaciones que van del 70% al 130%.<sup>(3)</sup> En general, se puede considerar que en uno de cada tres años las precipitaciones van a faltar o excederse en más de un 30 a 50%.<sup>(4)</sup>

En cuanto a la distribución de las lluvias a lo largo del año, el 65% de la precipitación ocurre en los meses de julio a octubre. El comportamiento de un período húmedo de julio a octubre y otro seco de noviembre a junio es aplicable a todo el país exceptuando solamente a Baja California y las Costas de Sonora y Sinaloa.<sup>(5)</sup> Un indicador que nos sirve para comprender mejor la intensidad de las lluvias en estos meses, es la Precipitación Máxima Probable (PMP). Este es un índice que se usa en el diseño de obras para proteger contra inundaciones y consiste en los registros históricos de las precipitaciones máximas en 24 horas. Los mayores valores de la PMP corresponden a las zonas costeras del

sur del país. En algunos lugares se alcanzan hasta --  
1,000 mm. y coinciden con las zonas en las que con más  
frecuencia se tienen tormentas tropicales. La PMP dis-  
minuye conforme se interna hacia el centro del país. En  
la parte centro norte y al norte de Sonora, se ubican -  
las áreas con menores valores de PMP con valores de 125  
mm. (6)

Este panorama nos hace llegar a dos conclusiones  
que permiten enfatizar y poner en relevancia la impor--  
tancia de la creación de otras fuentes de recursos hi--  
dráulicos.

- 1.- Las lluvias en México son irregulares en to-  
dos los aspectos:
  - en su distribución geográfica
  - en su distribución en el tiempo
  - en su comportamiento de un año a otro.
  
- 2.- Para la satisfacción de nuestras necesidades  
no es prudente fiarse de las lluvias. Como\_  
se verá posteriormente en los usos del agua,  
donde la lluvia se ha considerado como fuen  
te primaria de agua, el costo económico y so  
cial ha sido muy alto.

Antes de seguir adelante es necesario reflexio--  
 nar que el problema para satisfacer las necesidades de -  
 agua de un país no es su clima. Las sequías e inundacione  
 nes han existido siempre. El problema reside en la incapa  
 cidad de responder a los retos de la naturaleza. Un -  
 sistema de control de aguas puede lograr que la inunda--  
 ción de una temporada, sea la salvación para la siguien--  
 te. El concentrarse en sistemas menos vulnerables a cambi  
 os climatológicos es el objeto de los siguientes análisi  
 sis de fuentes de recursos hidráulicos. (7)

#### 1.1.2 Almacenamientos Naturales y Artificiales

Existen en México 1,264 presas con volúmenes ma--  
 yores a medio millón de  $m^3$ . Estas en total tienen una capa  
 cidad de almacenamiento de 124,745 millones de  $m^3$ . Por  
 otra parte existe una capacidad de almacenamiento en lago  
 s y lagunas de 14,000 millones de  $m^3$ . Del total de esto  
 s almacenamientos se tiene una evaporación media anual  
 de 9,300 millones de  $m^3$  que equivale a un 6.75%. (8)

La capacidad total de presas, lagos y lagunas corr  
 responde al 9.06% de las lluvias que se reciben en prome  
 dio anualmente. Aunque esta captación parezca baja, ha  
 dado una atención y un impulso vigoroso a la construcci  
 ón de presas en las últimas tres décadas. (Cuadro No. 7)

CUADRO No. 2

PRESAS CONSTRUIDAS EN LA REPUBLICA MEXICANA, EN EL PERIODO DE 1900 A 1980

Periodo de terminación (año)	Almacenamientos concluidos* (numero)	Capacidad total almacenada (100 m <sup>3</sup> )	Subtotal de Almacenamientos	Subtotal Almacenado (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
1900 - 1800	8	0.64	8	242
1801 - 1900	31	2.45	39	362
1901 - 1910	29**	2.29	68	634
1911 - 1920	30	2.37	98	3 861
1921 - 1930	17	1.34	115	5 388
1931 - 1940	62	4.92	177	7 140
1941 - 1950	122	9.65	299	20 757
1951 - 1960	279	22.07	578	46 102
1961 - 1970	367	29.03	945	99 763
1971 - 1980	310	25.24	1 264	124 745
<b>T O T A L</b>	<b>1 264</b>	<b>100.00</b>	<b>1 264</b>	<b>124 745</b>

\* Presas con capacidad mayor a los 0.5 millones de m<sup>3</sup>.

\*\* En dicho periodo se reporta el Lago de Chapala como almacenamiento concluido, pero está excluido de los datos reportados.

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Plan Nacional Hidráulico 1981. Anexo 2. "Disponibilidad de Agua y Suelo", Comisión del Plan Nacional Hidráulico, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México. 1981. p. 3-5.

Como se puede observar, hasta la década de los cuarentas la capacidad de almacenamiento en presas superó a la de almacenamientos naturales llegando al final de los setentas a ser 8.9 veces mayor. México, en principio, no es un país con grandes lagos, pero con obras de ingeniería se está sorteando ese obstáculo para adecuar la disponibilidad de agua en tiempo a las demandas de los usuarios.

De 1500 a 1940 se construyeron el 14% de las presas que se tenían en 1980. En la década de los cuarentas se impulsa la construcción con las presas La Angostura en Sonora, Lázaro Cárdenas en Durango, Marte R. Gómez en Tamaulipas y Sanalona en Sinaloa. En la década siguiente empieza la construcción de las grandes presas como la Miguel Hidalgo en Sinaloa y la Presidente Alemán en Oaxaca. En este período se duplica tanto el número de presas como el volumen almacenado. En los sesentas se duplica el volumen con un menor número de presas. Es importante en este período la entrada en operación de la presa "El Infiernillo" en Michoacán, cuyo volumen equivale al almacenado en las presas construidas durante 1940-50. En la década de los setentas se enfatiza la construcción de presas con una cortina más alta como la presa de Chicoasén en Chiapas. (9)

Por otra parte, es necesario analizar la distribución espacial en el territorio mexicano de estas presas.

De acuerdo con la SARH<sup>(10)</sup> el 95% del volumen lo contienen 59 presas con capacidades mayores a 100 millones de m<sup>3</sup>. El 5% restante del volumen lo tienen 1205 presas.

El 82% del volumen se encuentra entre el nivel del mar y 500 metros sobre el nivel del mar, región en la cual está sólo el 24% de la población. Es interesante para completar la visión de la distribución de las presas el análisis del Cuadro No. 3.

Se hace evidente la concentración de grandes volúmenes en pocos Estados: Chiapas tiene el 27.95% de la capacidad de almacenamiento en 4 presas, mientras que Jalisco en 174 presas tiene el 2.12% de la capacidad de almacenamiento.

En cuanto a su uso, se puede afirmar que en las zonas áridas el agua es usada para riego y en las húmedas para generar energía eléctrica; aunque la mayoría de las grandes presas en la última década fueron construidas para generar energía eléctrica.

CUADRO No. 3  
PRESAS EXISTENTES EN LAS DIFERENTES ENTIDADES FEDERATIVAS DE LA REPUBLICA  
MEXICANA  
(HASTA 1980)

ENTIDAD FEDERATIVA	Almacenamientos Existentes*	%	Capacidad Total Almacenada (hm <sup>3</sup> )	%
Aguascalientes	55	4.35	546	0.44
Baja California Norte	5	0.4	189	0.15
Baja California Sur	3	0.24	7	0.006
Coahuila	51	4.03	8 603	6.9
Colima	7	0.55	53	0.04
Chiapas	4	0.32	34 870	27.95
Chihuahua	62	4.91	5 541	4.44
Durango	92	7.28	5 731	4.59
Guanajuato	163	12.90	2 394	1.92
Guerrero	12	0.95	475	0.38
Hidalgo	49	3.88	988	0.79
Jalisco**	174	13.77	2 657	2.12
México	60	4.75	1 320	1.05
Michoacán	108	8.54	14 513	11.63
Morelos	4	0.32	31	0.02
Nayarit	10	0.79	17	0.01
Nuevo León	57	4.51	162	0.17
Oaxaca	26	2.06	11 121	8.91
Puebla	9	0.71	712	0.57
Querétaro	65	5.14	312	0.25
San Luis Potosí	50	3.96	161	0.17
Sinaloa	14	1.11	10 232	8.20
Sonora	24	1.90	10 917	8.75
Tamaulipas	36	2.85	11 140	8.93
Tlaxcala	16	1.27	86	0.06
Veracruz	4	0.32	1 269	1.01
Zacatecas	104	8.23	698	0.55
	1 264	100.00	124 745	100.00

\* Almacenamientos mayores de .6 hm<sup>3</sup>

\*\* No se incluye el Lago de Chapala.

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Plan Nacional Hidráulico 1981, Anexo 2, "Disponibilidad de Agua y Suelo", Comisión del Plan Nacional Hidráulico, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, 1981, p. 3-4.

### 1.1.3 Extracción Subterránea

Finalmente, para completar el panorama de fuentes de recursos hidráulicos, se analizará la extracción subterránea.

La extracción subterránea está estrechamente interrelacionada con el agua superficial (de lluvias, ríos, lagos y presas). La intercepción del escurrimiento superficial mediante obras civiles puede disminuir la recarga de los acuíferos. Por otra parte la explotación de acuíferos implica en muchas ocasiones la disminución del flujo base de un río y de la descarga de manantiales.

Para planear la explotación de pozos, es necesario comprender la anterior relación de agua subterránea y agua superficial. El agua subterránea está constituida por dos componentes principales: el volumen renovable que es el que el acuífero recibe anualmente en las estaciones de lluvias (recarga estacional de acuíferos) y el volumen no renovable que lo constituye la capacidad total del acuífero menos el volumen renovable. Un sistema de explotación de agua subterránea -- que consume de manera constante el volumen no renovable de un acuífero, causa daños irreversibles a este o

lo deja inutilizable por años. Estas sobreexplotaciones pueden producir colapsos económicos considerables al -- no poder sustituir las condiciones originales de consumo en que se inició la explotación del agua subterránea.

Sin embargo, las presiones socioeconómicas producidas por el desarrollo, han causado que el volumen extraído rebase en algunos acuíferos su recarga natural.

Los problemas inmediatos que esto genera son:

- a) abatimientos progresivos de los niveles de extracción incrementando los costos de bombeo;
- b) intrusión de agua de mar en acuíferos costeros;
- c) asentamientos de terrenos y formación de grietas.

Un ejemplo de asentamiento de terrenos lo tenemos en la ciudad de México, la cual se hunde entre 20 - y 30 cm. cada año.<sup>(11)</sup> En lo que va del siglo en algunas zonas ha llegado a 10 metros. Esto no solo afecta a las construcciones sino que también daña al sistema hidráulico por la ruptura de líneas de suministro de -- agua potable y de drenaje.

En los casos de sobre explotación, se han tomado diversas medidas para enfrentar los problemas. Básicamente estos han consistido en: <sup>(12)</sup>

- a) Reducir las extracciones hasta los volúmenes renovables y cuando esto no es posible limitar la extracción al máximo para alargar la vida útil de los acuíferos;
- b) La implantación de zonas de veda donde no se permite perforar ni incrementar los volúmenes de extracción;
- c) Incremento de la recarga mediante infiltración artificial;
- d) Redistribución de las captaciones para reducir la velocidad de abatamiento.

Para analizar el balance de extracción anual -- contra recarga permanente se puede observar el Cuadro - No. 4.

## CUADRO No. 4 \*

## BALANCE DE EXTRACCION Y RECARGA ANUAL

R E G I O N	Extracción anual TOTAL	Recarga anual	Sobre explotación	Sub-explo- tación
Baja California	1,774	1,179	595	
Noroeste	2,969	2,519	450	
Pacífico Centro	501	852		351
Balsas	894	1,785		891
Pacífico Sur Istmo	258	258		
Bravo	2,100	2,800		700
Golfo Norte	32	62		30
Papaloapan	334	606		272
Grijalva-Usumacinta	184	292		108
Península de Yucatán	500	13,000		12,500
Cuencas Cerradas	1,469	1,728		259
Lerma	2,587	3,179		592
Valle de México	2,840	2,519	321	
Costa Centro	123	162		39
	16,565	30,941	1,366	15,742

\* Todas las cifras en millones de m<sup>3</sup>.

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Plan Nacional Hidráulico 1981, Anexo 2, "Disponibilidad de Agua y Suelo", Comisión del Plan Nacional Hidráulico, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México. 1981. p. 4-56.

De este cuadro se puede deducir que aunque existe una sobreexplotación fuerte en algunas regiones, el potencial de explotación de agua subterránea es todavía muy grande. Cabe aclarar que dentro de una región que en general esta subexplotada, puede haber áreas cerca de centros urbanos o industriales donde existan acuíferos sobre-explotados y zonas vedadas.

Como información complementaria, y que será de utilidad en evaluaciones posteriores de este estudio en el cuadro No. 5 se hace una estimación estadística de las características prototipo de los pozos por Estado de la República. En éste se define su profundidad, nivel estático (profundidad a la que se encuentra el espejo de agua cuando no se está bombeando), nivel dinámico (profundidad a la que se abate el agua al empezar el bombeo) y, los litros por segundo que se obtienen.

CUADRO No. 5  
ESTIMACION DE POZOS TEORICOS

	Niveles			Caudal litros/seg.	Elevación sobre el nivel del mar
	Prof.	Est.	Dim.		
Aguascalientes	26.9	58.9m	103.2m	37.2	1,950
Baja Cal. Nte.	108	24.4	42.1	19.8	307
Baja Cal. Sur	95	26.7	46.2	41.1	81
Campeche	218	21.4	32.7	61.2	23
Coahuila	236	41.9	67.8	38.6	1,306
Colima	233	37.3	64.1	29	711
Chiapas	123	29.9	43.5	56.6	1,074
Chihuahua	240	31.8	55.3	47.9	1,501
D.F.	0	0.0	0.0	0.0	0
Durango	183	23.8	82.4	22.8	1,755
Guanaajuato	191	31.5	62.4	36.6	1,939
Guerrero	95	7.6	19.7	11.7	1,184
Hidalgo	162	44.4	64.1	39.3	2,031
Jalisco	172	42.1	84.9	28.5	1,413
México	172	51.3	68.8	66.8	2,425
Michoacán	186	8.3	43.1	67.8	1,712
Morolos	182	57.1	75.9	16	1,403
Nayarit	103	24.4	39.4	20	351
Nuevo León	588	63.8	98	61	1,169
Oaxaca	182	15.5	46.5	49.7	1,381
Puebla	154	35.2	75.1	31.5	1,858
Querétaro	167	45.1	66.3	80.3	1,897
Quintana Roo	50	20.2	25.1	8.1	25
San Luis	258	66.4	87.3	26.3	1,586
Sinaloa	121	24.9	73.2	10.8	54
Sonora	160	37.1	57.9	85.8	269
Tabasco	144	4.9	25.9	106.3	31
Tamaulipas	146	6.6	20.4	58.8	142
Tlaxcala	176	63.2	76.3	28.7	2,426
Veracruz	168	20.4	37.5	58.6	307
Yucatán	238	9.6			12
Zacatecas	218	44.9	72.6	32.7	2,053

Fuente: Atlas Geohidrológico. Banco Nacional de Información Geohidrológica, Subdirección General Geohidrológica y de Zonas Áridas, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Vol. 1. México 1978, pp. 153-258.

## 1.2 USOS DEL AGUA

El agua es un elemento básico en del desarrollo - de las actividades productivas y en el mejoramiento de la vida de la población. De acuerdo a la Fundación de Estudios para la Población<sup>(13)</sup> para el año 2000 México tendrá 127 millones de habitantes (considerando la tasa de incremento anual del 3%), lo cual va a generar fuertes demandas a todos los niveles del aparato productivo. De ahí que es importante el conocer el estado de nuestra infraestructura en uno de los aspectos más determinantes, el agua y, asimismo identificar sus límites y alternativas.

Conociendo ya el estado de nuestras fuentes de recursos hidráulicos, se puede efectuar un balance general de fuentes y usos y, evaluar la importancia de las fuentes para cada uso.

En la cuantificación del agua en relación a su uso se manejan tres términos:

- extracción al volumen total que se saca
- descarga al volumen retornado en estado líquido
- consumo a la extracción menos la descarga

Es interesante dentro de este contexto el considerar la diferencia del valor que se le da al agua en -

el medio rural y en el urbano. Mientras que para la población rural el agua es un elemento esencial para su supervivencia y desarrollo, para la población urbana es, generalmente sólo un elemento más de consumo, ya que la reciben controlada y desconoce los esfuerzos para captarla, conducirla y distribuirla.

### 1.2.1 Agricultura y Ganadería

La agricultura es sin duda el mayor consumidor de agua: Se extraen 45,000 millones de  $m^3$  para riego y se consumen 37,000 millones de  $m^3$ . Este consumo equivale al 88% del consumo total nacional. <sup>(14)</sup>

Este alto consumo tiene un aprovechamiento bajo que se refleja en una eficiencia del uso del agua de riego del 45.5%, conformada por una eficiencia en la conducción y distribución del 70%, y una eficiencia en la aplicación del 65%.

Del total del agua extraída el 57% de los usuarios son predios ejidales, de los cuales el 80% son menores de 10 hectáreas. El 43% restante se utiliza en terrenos de particulares, de los cuales el 27% tienen predios menores a 10 hectáreas.

De los cultivos que se cosechan en estas tierras\_ los que consumen mayores cantidades de agua por hectá--rea anualmente son los siguientes: <sup>(15)</sup>

Arroz	30,000 m <sup>3</sup>
Alfalfa	21,000 m <sup>3</sup>
Caña de azúcar	17,000 m <sup>3</sup>
Jitomate	13,000 m <sup>3</sup>

Con el objeto de visualizar la relación entre - - agua subterránea y agua superficial que se dedica a la\_ agricultura, se analizará el Cuadro No. 6.

En estas cifras, las cuales abarcan el ciclo - - agrícola 1977-78, se observa que el volumen superficial total es casi el doble del volumen subterráneo total.

En cuanto a la ganadería, en 1980 se tenían 33.7\_ millones de animales entre especies mayores y meno- res. <sup>(16)</sup> Estos consumieron en forma directa 914 millo- nes de m<sup>3</sup> de agua, lo cual representa apenas el 3% del\_ agua dedicada a agricultura. (Cuadro No. 7)

CUADRO No. 6  
 VOLUMENES TOTALES DISTRIBUIDOS PARA TIERRAS DE  
 RIEGO EN 1978  
 (Miles de m<sup>3</sup>)

E S T A D O	Volumen Superficial	Volumen Subterráneo	Volumen Total
Aguascalientes	72 122	275 751	347 873
Baja California	1761 158	896 072	2657 230
Baja California Sur	10 756	435 412	446 168
Campeche	-	32 239	32 239
Coahuila	1487 513	799 506	2287 019
Colima	709 460	266 457	975 917
Chiapas	221 044	-	221 044
Chihuahua	1386 361	1049 848	2436 209
D.F.	-	-	-
Durango	250 671	259 383	510 054
Guanajuato	1866 395	1604 371	3470 766
Guerrero	396 760	2 839	399 599
Hidalgo	1246 223	108 907	1355 130
Jalisco	984 922	296 294	1281 216
México	688 986	968 929	1657 915
Michoacán	2114 253	416 966	2531 219
Morelos	470 678	35 208	505 886
Nayarit	312 895	158 815	471 710
Nuevo León	959 424	323 855	1283 279
Oaxaca	401 436	74 193	475 629
Puebla	350 602	443 728	794 330
Querétaro	131 574	1864 648	1996 222
Quintana Roo	-	1 565	1 565
San Luis Potosí	218 434	279 563	497 997
Sinaloa	5729 815	463 893	6193 708
Sonora	3238 489	2644 292	5882 781
Tabasco	-	1 996	1 996
Tamaulipas	2481 802	141 289	2623 091
Tlaxcala	67 801	68 160	135 961
Veracruz	906 068	108 658	1014 726
Yucatán	148	56 525	56 673
Zacatecas	276 203	475 786	751 989
T O T A L	28741 993	14555 148	43297 141

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Plan Nacional Hidráulico 1981. Anexo 3. "Usos del Agua", Comisión del Plan Nacional Hidráulico, -  
 Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México 1981. P. 1-37.

CUADRO No. 7  
 PROYECCION DE EXTRACCION DE AGUA PARA RIEGO,  
 USOS PECUNIARIOS Y ACUACULTURA

CONCEPTO	1980		1990		2000	
	Millones m <sup>3</sup>	%	Millones m <sup>3</sup>	%	Millones m <sup>3</sup>	%
Riego	44,740	97.4	69,542	97.6	92,382	97.7
Ganadería	914	2.0	1,300	1.8	1,700	1.8
Acuicultura	299	0.6	406	0.56	515	0.5
TOTAL	45,953	100.0	71,248	100.0	94,597	100.0

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos,  
 Plan Nacional Hidráulico 1981, Comisión del Plan Nacional  
 Hidráulico, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.  
 1981. p. 47.

### 1.2.2 Uso Urbano

El nivel de servicio de agua potable en el país es muy bajo. Solo el 39% de la población rural y el 66% de la población urbana tenían servicios de agua potable en 1978. Tomando el total de la población en México a 1978, el 56% tenía servicios de agua potable. (17)

Es necesario reconocer en esta aplicación del recurso, que la problemática que presenta la población urbana contra la rural, es muy diferente.

En el primer caso los problemas principales están relacionados con dos factores básicos:

- 1) la deficiente conservación y mantenimiento de las redes e instalaciones electromecánicas.
- 2) la baja eficiencia en el uso del agua por pérdidas en las redes y desperdicio de los usuarios.

Estos problemas se agudizan por la creciente demanda concentrada en grandes ciudades. Actualmente ya existen problemas para el suministro del agua en cantidades suficientes con la calidad adecuada.

Las perspectivas de este problema son graves y

requieren de soluciones a implementar a corto plazo. - Por una parte, la solución ideal consistiría en el reuso intensivo del agua, tanto en la agricultura como en la industria, mediante tratamientos adecuados. Pero en la medida en que la anterior alternativa no solucione el problema, será necesario cerrar 115,000 hectáreas de riego situadas en los alrededores de las urbes. Al mismo tiempo, puede afectar el abastecimiento de la generación de energía eléctrica a las ciudades, la cual también estará siendo demandada en cantidades crecientes.

Por otra parte, en las zonas rurales se necesitan sistemas con una infraestructura simple para poblaciones con menos de 1,000 habitantes que se encuentran dispersas por todo el país.

Actualmente se extraen 4,200 millones de  $m^3$  para satisfacer los requerimientos de agua potable en todo el país. Se estima que para 1990 se requerirán 6,342 millones de  $m^3$  y para 2000 se requerirán 8,757 millones de  $m^3$ . (18)

### 1.2.3 Uso Industrial

Debido al crecimiento acelerado de la industria - de 1968 a 1979, la demanda de agua de este sector aumentó en este periodo a una tasa del 7% anual. En 1980 se

estimaba que el volumen extraído para fines industriales era de 5,800 millones de  $m^3$ . Se han identificado, nueve grupos industriales como los principales usuarios del recurso, extrayendo el 83%. (Ver Cuadro No. 8)

Al igual que el consumo de agua potable, el consumo industrial está concentrado en unas cuantas ciudades, lo cual agudiza los problemas para su suministro. En las ciudades de México y Monterrey se concentra el 70% del empleo industrial, y ahí se ubican 3,000 de los 5,000 establecimientos industriales que más agua usan. (19)

Dentro del uso industrial del agua, la recirculación cobra especial importancia, ya que es posible recircular cuando menos 2,300 millones de  $m^3$ , que es el 50% del total abastecido. Las razones que han obstaculizado la implementación de esta práctica son: por un lado su restricción para uso humano, y, por otro, un costo de tratamiento ligeramente inferior comparado con la tarifa que paga la industria, lo cual no hace atractiva la amortización de la inversión necesaria para el tratamiento: (20)

Costo de tratamiento	\$2.05/ $m^3$
Tarifa a la industria	<u>\$2.20/<math>m^3</math></u>
(Costos 1981)	\$0.15/ $m^3$

## CUADRO No. 8

## USUARIOS DE AGUA POR TIPO DE INDUSTRIA 1980

Industria Azucarera	35%
Industria Química	22%
Industria de la Celulosa y el Papel	8%
Industria Petrolera	7%
Industria de Bebidas, Textiles, Siderurgia, Termoeléctrica y de Alimentos	<u>11%</u>
Subtotal	83%
Otras industrias	<u>17%</u>
Total	100%

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Plan Nacional Hidráulico 1981, Comisión del Plan Nacional Hidráulico, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, 1981. p. 53.

#### 1.2.4 Generación de Energía

Dentro de este inciso es necesario considerar el agua que se extrae para generar energía eléctrica. Los mayores volúmenes en este renglón son extraídos por las plantas hidroeléctricas, aunque también las plantas termoeléctricas (para el enfriamiento), la explotación de petróleo, carbón y uranio extraen en menor escala.

En 1980 se extrajeron 100,000 millones de  $m^3$  para producir 20 millones de kilowatts a niveles de energía hidroeléctrica.

Estos 100,000 millones de  $m^3$  equivalen al 64% de la extracción total y los 20 millones de kilowatts por año equivalen al 78% de la generación total de energía en el país.

Se estima que para el año 2000 la demanda total de energía eléctrica será de 350 millones de kilowatts anuales, de los cuales el 25% recaerá sobre las plantas hidroeléctricas. Esto implica un crecimiento de 4 veces la energía eléctrica producida en 1980. (21)

1.3 LA IMPORTANCIA DEL MOLINO DE VIENTO DENTRO DEL SISTEMA DE FUENTES Y APLICACIONES DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS.

Con base en la información anterior se puede hacer un análisis esquemático en forma general del sistema que componen las fuentes de recursos hidráulicos y su aplicación. (Ver Cuadro No. 9).

CUADRO No. 9  
FUENTES Y USOS DEL AGUA

	Extracción Subterránea	Almacenamientos Naturales y Artificiales	Total Extracción
Hidroeléctrico	-	99,875	99,875
Agrícola	15,448	30,505	45,953
Urbano	247	3,937	4,184
Industrial	870	4,932	5,802
<b>T O T A L</b>	<b>16,565</b>	<b>139,249</b>	<b>155,814</b>

Fuente: Elaborado con base en la información mencionada en el presente capítulo.

Ahora bien, en relación al molino de viento, se tiene que ubicar su importancia y utilidad dentro del contexto de todo este sistema.

El molino de viento será básicamente el medio de proveer energía para el bombeo de pozos, por lo que, primeramente, se debe determinar la relevancia de extracción subterránea dentro del sistema.

La extracción subterránea aporta el 10.63% del volumen total de fuentes de recursos hidráulicos. De este total el 93.25% es usado en la agricultura, un 5.25% para usos industriales y el 1.5% para usos urbanos (Cuadro No. 9).

Dentro del volumen total extraído para fines agrícolas, la extracción subterránea representa el 33.7%, el 15% para uso industrial y el 5% para uso urbano (Cuadro No. 9).

Claramente se observa que en cuanto a los volúmenes aportados no es, para ninguna aplicación, la fuente más importante. También, si se toma en cuenta que el volumen de recarga anual (Cuadro No. 5) es de 30,941 millones de  $m^3$ , y que este es el límite máximo de explotación nacional de la extracción subterránea, no se le puede considerar como la piedra angular para resolver las grandes demandas que se requerirán en el futuro próximo.

Sin embargo, la extracción subterránea juega un papel insustituible por las siguientes razones:

1. El 95% del volumen de los almacenamientos se encuentra en 59 presas, que se destinan principalmente a generar energía eléctrica.

2. El alto costo de la conducción del agua por grandes distancias lo hace poco factible para las necesidades rurales de agua potable y de las zonas industriales alejadas de los centros urbanos. Asimismo, limitaría las zonas de cultivo de riego y la frontera agrícola.

De este modo la extracción es un factor clave para la descentralización del desarrollo industrial, el mejoramiento del nivel de vida de la población rural y de la producción de alimentos.

## 2. LOS MOLINOS DE VIENTO

### 2.1 LAS FUENTES DE ENERGIA NO CONVENCIONALES

Es un hecho que los recursos energéticos convencionales que en su mayoría son no renovables, tendrán - sus picos de producción a nivel mundial en un futuro no muy lejano, especialmente en el caso del petróleo y el gas.

La toma de conciencia sobre esta situación ha - despertado un creciente interés en la búsqueda y desa- rrollo de fuentes no convencionales de energía. En es- ta situación, los países que -como México- se han visto favorecidos con vastas reservas de hidrocarburos, ten- drán un mayor período para ajustarse a los cambios ine- vitables que se pronostican en este sector.

La utilización del viento para la generación de energía útil se remonta muy atrás en la historia de la humanidad, y puede afirmarse que se trata de uno de los aprovechamientos más antiguos. Sin embargo, el adveni- miento de la era industrial y sus necesidades de contar con un flujo confiable de energía disponible, fue des- plazando los molinos de viento, dejando muy poco inte- rés en el desarrollo de mejoras a estos sistemas, con - el fin de aprovecharlos dentro de las nuevas demandas - de energía.

La actual crisis de energéticos, que comienza - en la década anterior, obliga a reconsiderar el viento como un recurso energético disponible. Asimismo, los - desarrollos científicos y tecnológicos en las áreas de ciencias de material y aeroespacial, han propiciado adelantos importantes en la eficiencia de los equipos necesarios para el aprovechamiento de la energía eólica, -- así como diseños de equipos con significativas reducciones de costos.

Actualmente, en los países industrializados se realizan esfuerzos considerables para lograr la comercialización de estos sistemas, aprovechando condiciones geográficas favorables. En dichos países, los regímenes de viento a lo largo del año son mucho más altos que en los países en vías de desarrollo, los que en su mayoría se ubican entre los trópicos, donde normalmente se presentan bajos regímenes de viento. Este último factor -- es de primordial importancia para el diseño de equipos ya que la eficiencia se reduce drásticamente al disminuir la velocidad del viento. El aprovechamiento del -- recurso indica la necesidad de adecuar la tecnología generada en los países industrializados a las condiciones locales.

A largo plazo, el aprovechamiento de energía --

eólica tendrá un impacto pequeño en los balances energéticos de las naciones. Sin embargo, bajo una política de diversificación de las fuentes de energía convencionales puede llegar a un desarrollo importante de aprovechamiento de este recurso energético, aun cuando su contribución porcentual sea pequeña.

## 2.2 CONCEPTOS GENERALES DE ENERGIA EOLICA

La energía eólica es aquella que se puede extraer de los vientos. Los vientos la obtienen de la energía solar. El sol es el que calienta la tierra y esta, a su vez, calienta el aire. La luz del sol que pasa a través de la atmósfera le imparte un calor mínimo, pero la tierra y el agua sí se lo transmiten por conducción.

Ya que existen diferencias en las propiedades de la superficie terrestre, la tierra es calentada en forma desigual y, por lo tanto, lo mismo le sucede al aire. Estas diferencias de temperatura se traducen a diferenciales de presión cuya energía acumulada es disipada como energía cinética a través del viento.

De esta manera se puede afirmar que la energía eólica es una forma de energía cinética, o sea, la pro-

veniente del movimiento de moléculas de gas que causan una reacción en donde quiera que chocan. Un molino de viento funciona básicamente en la misma forma que una turbina hidráulica. La diferencia estriba en el fluido para el cual son diseñados, el aire tiene una ochocientosava parte de la densidad del agua. En un metro cúbico de aire con un movimiento determinado no hay la misma energía cinética que la que contendría un metro cúbico de agua con el mismo movimiento.

En teoría, solamente es posible recuperar poco menos del 60% de la energía en el viento. La extracción de toda la energía significaría detener totalmente el movimiento del aire en el área que abarcan las hélices del molino. Si se consideran también las pérdidas de energía en la caja de engranes y en el generador se obtiene que alrededor de un 35% de energía eólica puede convertirse en energía eléctrica. (22)

Sin embargo, esta eficiencia no se encuentra -- muy lejos a la de las mejores plantas termoeléctricas. Esta eficiencia significa el desacelerar la columna de aire a un tercio de su velocidad.

Una consideración básica en el diseño de un sistema para aprovechar la energía cinética del aire -- es la ley básica que define que la energía a obtener --

de este fluido es proporcional al cubo de la velocidad del viento. Si una velocidad tal produce 2 kilowatts, al duplicarse esa velocidad producirá 16 kilowatts.

Por otra parte en relación al área del propulsor, si un propulsor de 2 metros produce 2 kilowatts, uno de 4 metros producirá 8 kilowatts; obedeciendo a la ley de los cuadrados.

### 2.3 BREVE HISTORIA DEL DESARROLLO DE MOLINOS PARA APROVECHAR LA ENERGIA EOLICA

El primer molino de viento que se tiene identificado se reportó alrededor del año 640 en Islam, en el reinado del Califa Omar I. Parece ser que tuvo un desarrollo muy lento, y hasta el año 950 los historiadores señalan la siguiente referencia. Para entonces estos se encontraban en Persia en cuyas áreas desérticas y calientes predominaban vientos fuertes. El uso básico -- que se le dió fue para bombear agua y moler grano. El molino de entonces tenía un eje vertical y las paletas horizontales.

Los europeos importan la idea del este y son -- los primeros, en el siglo XII, en usar el molino con -- eje horizontal y hélices, el cual es muy superior en su

velocidad de rotación y eficiencia. En Inglaterra y -- Holanda fué donde tuvieron el mayor éxito y con el tiempo fueron pasando a efectuar otras funciones mecánicas, como aserraderos, o el bombeo masivo que ayudó a Holanda a ganarle tierra al mar. En esta época se usaban la madera, la piedra y el hierro en su construcción. Por otra parte en las islas griegas, en Creta y en Rodas, se usaron (y siguen usándose) molinos de velas; los cuales utilizan telas en lugar de hélices. Estos aunque -- frágiles, tienen una alta eficiencia mecánica debido a su ligereza y a la adaptación de la tela a una forma -- mas aerodinámica.

En América, los molinos han tenido su desarrollo principalmente en Estados Unidos, donde fue introducido en el siglo XVI. Es aquí donde el viejo molino holandés es mejorado al hacerlo libre para girar 360°, poniéndole una aleta vertical en la parte anterior a las hélices para mantenerlo en la dirección del viento y pudiendo aprovecharlo aunque este cambiara de dirección. Un estimado de 6.5 millones de molinos estuvieron en -- uso en el medio siglo entre 1880 y 1930 en E.U., y proporcionaron cerca de una cuarta parte de las necesidades de energía. Con el afianzamiento de la máquina de vapor en el mercado de la energía eléctrica, los molinos cayeron en desuso y paulatinamente empezaron a desapare

cer. Únicamente en los lugares sin acceso a los cables, pudieron permanecer y de los 6.5 millones la cifra se redujo a 175,000.

En Europa se siguió un proceso similar al americano, aunque en algunos lugares, como Dinamarca, siguieron proporcionando una parte considerable de sus necesidades hasta 1910.

A pesar de su declinación, el interés en la energía eólica no desapareció de los centros experimentales. Dinamarca, Inglaterra, Francia, Alemania, Rusia y Estados Unidos, realizaron trabajos experimentales con grandes molinos.

En 1931 los rusos construyeron en Valtá, en el Mar Negro, un molino con una hélice de 30 metros de diámetro, que produjo 100 kilowatts con una velocidad del viento de 11.17 metros por segundo (25 millas por hora).

De 1957 a 1968 los daneses operaron un molino en Gedser con 24 metros de diámetro en las hélices. Este produjo 200 kilowatts en un viento de 14.30 metros por segundo (32 millas por hora). Alemania construyó a finales de los cincuenta un molino de 34 metros que produjo cerca de 100 kilowatts con vientos de 15.2 metros por segundo (18 millas por hora).

En los años 70's ha aparecido un nuevo entusiasmo por los molinos de viento (entre otras fuentes de -- energía no convencionales). Este se debe principalmente al incremento en el costo de los energéticos y a la conciencia del deterioro ecológico que está presentándose en los países industrializados y en vías de desarrollo.

Como resultado de este interés han surgido nuevos proyectos que aplican la tecnología moderna para -- producir molinos que se adapten a las actuales necesidades de energía.

3. EL MOLINO DE VIENTO DEL INSTITUTO DE  
INVESTIGACIONES ELECTRICAS: APLICACIONES  
Y EVALUACION CON RESPECTO A ALTERNATIVAS

3.1 EL MOLINO DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
ELECTRICAS

3.1.1 Objetivos del Diseño

Como ya se mencionó anteriormente, debido a las diferencias en los regímenes de viento de los países en vías de desarrollo que por lo general se ubican entre los trópicos, con los de los países industrializados; el IIE se propuso la tarea de desarrollar un conversor de energía eólica a eléctrica que estuviera más adaptado a las condiciones del país.

Para esto existía el precedente del molino de -  
aspas múltiples tipo americano en su intento por pene-  
trar al país:

1.- Estos presentaban una alta inversión de capital si se les compara con una bomba diesel de capacidad similar, lo cual se ha acentuado con las diferencias en la paridad con el dólar, ya que ese es importado.

2.- El gran volumen y peso de estos molinos, di

señados en una época en que la solidez significaba confiabilidad, aumentan significativamente su costo de - - transporte, resultando casi siempre mayor que el de una bomba impulsada por un motor de combustión interna. El costo del transporte internacional incrementa considerablemente el precio de fábrica.

3.- La falta de información técnica sobre estos equipos provoca problemas al usuario que van desde la - incorrecta selección del tamaño del rotor y de la bomba, hasta deficientes servicios de reparación y mantenimiento, así como falta de refacciones.

4.- Debido a que los modelos de aerobombas que existen en el mercado fueron diseñados hace varias décadas, resultan demasiado intensivos en materiales y por consiguiente caros en el mercado actual.

5.- La manufactura local de estas aerobombas, - bajo licencia, tiene la limitación de la gran inversión en herramienta y equipos necesarios para llevar a cabo los procesos involucrados en su fabricación, como son: estampados, forjados, fundiciones y galvanizados por inmersión.

6.- Estan diseñados para regímenes de viento -- significativamente más altos.

Los esfuerzos del prototipo desarrollado por el IIE han sido dirigidos para lograr los siguientes objetivos principalmente:

1.- El hacer rotores con una solidez menor y mayor eficiencia aerodinámica que la aerobomba tipo americano, para obtener un rotor más ligero y barato, y en general un equipo menos intensivo en capital.

Esto se logró con la construcción de las "aspavillas", que consisten en aspas con alma de aluminio revestidas con tela de nylon muy resistente.

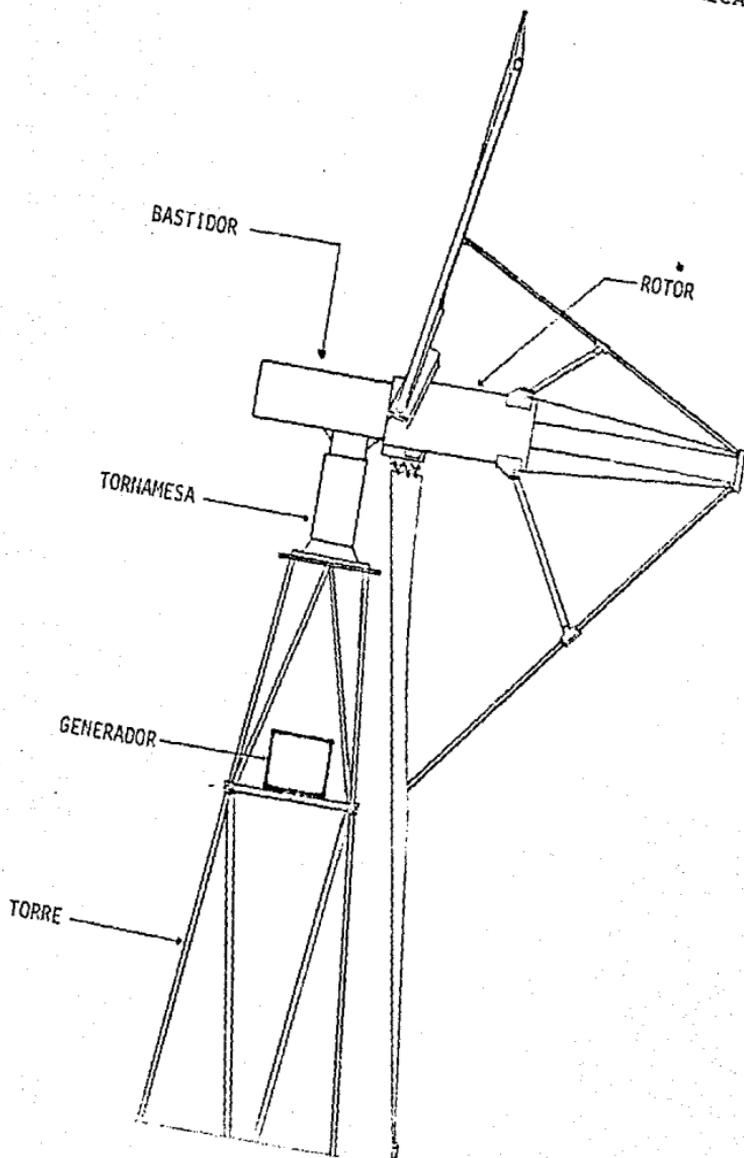
2.- El usar materiales y piezas de producción nacional.

3.- El evitar el uso de la aleta estabilizadora haciendo una variación al diseño.

### 3.1.2 Descripción del Molino y Costos

El molino desarrollado se puede apreciar en el dibujo No. 1.

DIBUJO No. 1  
MOLINO DE VIENTO DEL INSTITUTO DE  
INVESTIGACIONES ELECTRICAS



Como se puede observar, consiste de 5 partes -- principales más la bomba de agua:

1.- Rotor

El rotor es la pieza a la cual van sujetos las aspavelas y que a su vez esta fijado a la flecha. En su parte posterior sale un tubo de aluminio llamado aguja, del cual se sujetarán los tubos de compresión que van de la aguja a las aspavelas. Los tubos de compresión son también de aluminio.

2.- Bastidor.

En este se encuentra la caja de transmisión a la cual llega la flecha.

3.- Tornamesa.

Esta pieza es el cuerpo que le permite girar al rotor y el bastidor para orientarse a la dirección del viento. Consiste básicamente en un juego de baleros.

4.- Generador eléctrico de imanes permanentes.

5.- Torre de tubería.

6.- Bomba sumergible y controles.

Debido a que posteriormente será necesario conocer el costo del molino para evaluarlo contra otras alternativas, se hizo un lis-

taño que se presenta a continuación de los costos en --  
que se incurrieron para su fabricación:

LISTADO DE COSTOS INCURRIDOS EN LA  
CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO.

(MAYO, 1985)

1.-	Rotor	
	Rotor	855,600
	Aspavelas	1'460,160
	Aguja	84,480
	Tubos compresión	76,560
	Forro aspavelas	103,680
	Chumaceras, tornillerfa, soldadura, etc.	<u>710,400</u>
	Subtotal 1	3'290,880

2.-	Bastidor	
	Transmisi3n	283,932
	Tuberfa	104,895
	Baleros flecha principal	137,122
	Buje inferior	113,529
	Ajuste y ensamble	390,350
		<hr/>
	Subtotal 2	1'029,828

3.-	Tornamesa	
	Cuerpo	112,850
	Balero superior	86,256
	Balero inferior	68,561
	Tornillerfa y cubre polvo	26,908
		<hr/>
		294,575

4.-	Generador	1' 396, 704
-----	-----------	-------------

5.-	Torre	
-----	-------	--

	Tubería	126, 725
--	---------	----------

	Tornillería	22, 366
--	-------------	---------

	Cimentación	222, 000
--	-------------	----------

	Mano de obra	<u>85, 629</u>
--	--------------	----------------

	Subtotal	456, 720
--	----------	----------

	GRAN TOTAL:	6' 468, 707
--	-------------	-------------

### 3.2 CALCULO DE LA ENERGIA PRODUCIDA POR EL MOLINO DE VIENTO DEL IIE.

Para saber los volúmenes de agua que se pueden extraer con el molino para cualquier caso, hay que definir dos variables:

- 1) la velocidad media del viento en la zona
- 2) la profundidad del pozo.

Por medio de la velocidad media se puede calcular la energía que proporcionará el molino, y de ésta, el volumen de agua se obtiene de las siguientes ecuaciones:

	E = energía
E = F · D	F = fuerza
	D = distancia
	m = masa
F = m · a	a = aceleración

Por lo tanto:

$$E = m \cdot a \cdot D \quad \text{y} \quad m = \frac{E}{D \cdot a}$$

Si a = aceleración de la gravedad = 9.8 m/seg<sup>2</sup>

D = profundidad del pozo

E = energía proporcionada por el molino

la variable dependiente m = masa de agua que puede extraerse.

Ahora bien, en este capítulo 3.2 se mostrará la forma en la cual se obtuvieron los valores de energía que proporciona el molino con diferentes velocidades medias.

La energía proporcionada por el molino va a ser producto de su potencia por el tiempo durante el cual esté sometido a determinada velocidad del viento.

$$E = P \cdot T \quad (1) \quad \begin{array}{l} P = \text{potencia del molino} \\ T = \text{tiempo que esté funcionando a determinada velocidad del viento.} \end{array}$$

La potencia del molino será obtenida en el inciso 3.2.1 para el rango de velocidades para las cuales éste fue diseñado.

Si la velocidad del viento fuera constante, para obtener la energía que produciría el molino en un día bastaría con multiplicar 24 horas por la potencia a dicha velocidad del viento. Conociendo que la velocidad del viento es un fenómeno aleatorio, se ha utilizado una función de densidad de probabilidad para obtener la distribución de velocidades del viento con base en una velocidad media del viento que sea conocida. Es

to será desarrollado en el inciso 3.2.2.

En el inciso 3.2.3 se obtendrá finalmente la --  
energía para velocidades medias del viento entre 2 y 8\_  
m/seg y con 20 distribuciones de velocidad diferentes -  
para cada velocidad media.

### 3.2.1 Cálculo de la Potencia del Sistema

Considerando una corriente de una masa homogé--  
nea de aire, la potencia dependerá de su velocidad y es  
tará determinada por la ecuación:

$$P_v = 1/2 m v^2 \quad (2)$$

Donde:  $P_v$  = Potencia del sistema

$m$  = masa

$v$  = velocidad

Si la dirección, sentido y magnitud son constan--  
tes en el tiempo y en cualquier punto en el espacio den--  
tro del volumen de aire considerado, la masa del aire -  
fluyendo a través de una sección transversal  $A$  será:

$$m = \rho A v \quad (3)$$

Donde:  $\rho$  = densidad del aire

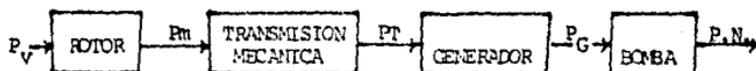
$V$  = velocidad del viento

$A$  = área transversal por donde fluye el aire

y la ecuación (2) se puede expresar:

$$P_v = 1/2 \rho A V^3 \quad (4)$$

De la potencia total contenida en la energía eólica, su recuperación estará limitada por la eficiencia de los mecanismos del sistema. En este caso el siguiente diagrama de cajas ilustra los cuatro mecanismos:



$P_v$  = potencia del viento

$P_m$  = potencia del molino

$P_T$  = potencia de la transmisión

$P_G$  = potencia del generador

$P.N.$  = potencia neta

$N_m$  = eficiencia del molino

$N_t$  = eficiencia de la transmisión

$N_G$  = eficiencia del generador

$N_B$  = eficiencia de la bomba

Conociendo las eficiencias de los mecanismos a partir de los datos del diseño del IIE:

$$N_m = 0.31$$

$$N_T = 0.8$$

$$N_G = 0.95$$

$$N_B = 0.75$$

se puede obtener la potencia neta del sistema:

$$PN = N_m \cdot N_T \cdot N_G \cdot N_B \cdot P_v \quad (5)$$

Al producto de las eficiencias se le designará eficiencia del sistema ( $N_S$ ), por lo que sustituyendo en la ecuación (5):

$$PN = P_v N_S \quad (6)$$

$$PN = 1/2 \rho A V^3 N_S \quad (7)$$

donde para el sistema:

$$N_s = 0.311 \times 0.80 \times 0.95 \times 0.75 = 0.17727$$

$$\rho \text{ estándar a nivel del mar} = 1.225 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{diámetro del rotor} = 11 \text{ mts.}$$

$$PN = 1/2 (1.225) (5.5)^2 \pi (0.17727) V^3$$

$$PN = 10.3185 V^3 \text{ (watts)}$$

Los resultados obtenidos de la potencia neta - del sistema desde que la velocidad es de 3.33 metros/segundo hasta 10 metros/segundo (que es el rango para el cual fue diseñado el molino), se listan a continuación:

VELOCIDAD (m/seg)	POTENCIA NETA (watts)
3.33	279
3.5	442
4	660
4.5	940
5	1,290
5.5	1,717
6	2,229
6.5	2,834
7	3,539
7.5	4,353
8	5,283

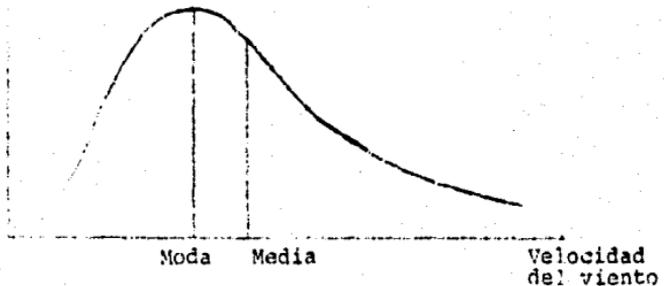
<u>Velocidad</u>	<u>Potencia Neta</u>
8.5	6,337
9	7,522
9.5	8,847
10	10,318

### 3.2.2 Bases para la estimación de la distribución de velocidades del viento.

La velocidad del viento es un fenómeno que se comporta aleatoriamente. Sin embargo la medición de velocidades de viento durante diferentes periodos ha demostrado que su distribución de frecuencias tiene las siguientes características:

- 1.- Que la velocidad media es mayor que la velocidad de mayor ocurrencia. (MODA)
- 2.- Que cuando la velocidad media aumenta, la velocidad de mayor ocurrencia aumenta proporcionalmente; y viceversa.
- 3.- Que el área bajo la curva tiene un valor constante.

Tiempo



Bajo estas características se ha comprobado que es posible aplicar una función matemática de densidad - de probabilidad que al proporcionarle la velocidad media ( $\bar{V}$ ) y un factor de forma de la campana denominado K, es posible construir un histograma de velocidades teóricas.

Esta función matemática que se anota a continuación se conoce como la función de Weibull:

$$P(V) = (K/C) (V/C)^{K-1} \exp [-(V/C)^K]$$

$$\text{donde: } C = \bar{V} / \Gamma (1 + 1/K)$$

$$K = (\sigma / \bar{V})^{-1.086}$$

$\Gamma$  = función gamma

$\sigma$  = desviación estándar

K tomará valores de uno a tres, ya que éstos responden a las tres varianzas (baja, media y alta) que caracterizan a las distribuciones de velocidades de viento.

De esta forma, con K y  $\bar{V}$  para cualquier lugar, se conocerá el número de horas que existirán con las diferentes velocidades de viento para un período de tiempo definido.

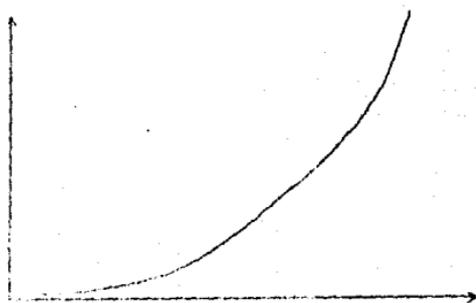
3.2.3 Cálculo de la energía disponible con las distribuciones de viento determinados por  $K$  y  $\bar{V}$

En este inciso se combinarán las ecuaciones de potencia del sistema con la de densidad de probabilidad de Weibull para obtener la energía producida.

La ecuación  $E = P \cdot T$  es la multiplicación de la gráfica de potencia por la gráfica de velocidades.

GRAFICA DE POTENCIA

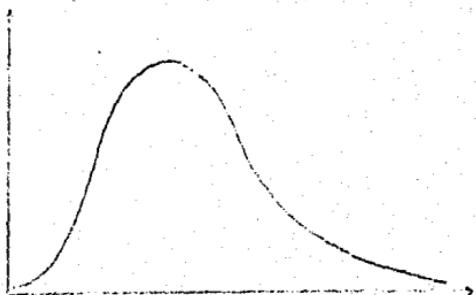
Watts



Velocidad

GRAFICA DE VELOCIDADES

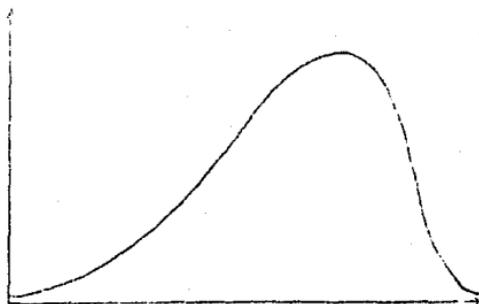
Horas



Velocidad

## GRAFICA DE ENERGIA

Watts·Hora



Velocidad

Donde matemáticamente:

$$P_m = 1/2 \rho A V^3 N_S \quad (7) \text{ Determina la gráfica de potencia}$$

$$P(V) = (K/C) (V-C)^{K-1} \exp. [-(V/C)^K] \quad (8)$$

Determina la gráfica de velocidades  
del viento.

En = Energía neta en el pozo, será el producto de ambas.

$$E_n = \int_{v=3.33}^{10} 1/2 \rho A N_S T V^3 P(V) dv \quad (9)$$

$$E_n = 1/2 \rho A N_S T \int_{v=3.33}^{10} V^3 P(V) dv \quad (10)$$

En conclusión:

- 1.- El molino funcionará de 3.33 hasta 8 mts./seg.
- 2.- Cada lugar donde puede ser instalado, tiene una velocidad media característica y una -- distribución de sus vientos que se puede de finir por el factor K.
- 3.- Si se consideran velocidades medias desde 2 hasta 8 mts./seg., para cada velocidad media se pueden tener diferentes distribuciones del viento.

Por ejemplo: Caso 1  $\bar{V} = 2.5$  mts./seg.  $K=2$

Caso 2  $\bar{V} = 2.5$  mts./seg.  $K=3$

En el caso 1 la distribución de vientos que vayan desde 3.33 hasta 8 mts./seg. que el molino puede aprovechar va a ser diferente que en el caso 2.

- 4.- Para obtener un panorama general de al energía que obtendrá el molino, se hicieron las tablas que se presentan en el anexo 1, en las que para cada velocidad media desde 2 hasta 8 mts./seg. (con incremento de 0.5 mts./seg.) se obtenga la energía para cada K (desde que  $K = 1$  hasta 3, con incrementos del 0.1).

### 3.3 APLICACIONES

Como se explicó en la parte introductoria al -- capítulo 3.2, conociendo la energía que proporciona el molino y la profundidad del pozo, es posible calcular el volumen de agua que este podrá extraer. En el inciso 3.3.1 se describirá a detalle este procedimiento.

Con base en este procedimiento y conociendo las características hidráulicas y eólicas de los estados de la República Mexicana, se haría un análisis de algunos Estados representativos en cuanto a sus características eólicas. En este se verá los volúmenes de agua que proporciona el molino en estos Estados, y se relacionará a diferentes aplicaciones según las necesidades de las -- mismas.

Del análisis de estos casos se obtendrán conclusiones generales sobre las aplicaciones para las cuales puede ser usado el molino.

#### 3.3.1 Uso de las tablas para determinar los volúmenes de agua que se pueden extraer.

Con el objeto de poder convertir la energía que se obtiene con el molino en diferentes condiciones, a -

la cantidad de agua que dará el molino, se efectuó el siguiente análisis:

$$E = F \cdot D \quad (11) \quad F = \text{Fuerza}$$

$$D = \text{Distancia}$$

Fuerza necesaria para subir una columna de agua va a ser:

$$F = m \cdot a \quad (12) \quad m = \text{masa}$$

$$a = \text{aceleración}$$

$$F = m \cdot g \quad m = \text{masa de agua}$$

$$g = 9.8 \text{ m/seg}^2$$

$$(\text{constante gravitacional})$$

$$E = m \cdot g \cdot h \quad \therefore \quad m = \frac{E}{g \cdot h \cdot k}$$

$h$  = profundidad del pozo

$k = 1.2$  es el factor de pérdidas en las tuberías de succión. (23)

$$m = \frac{E}{g \cdot h \cdot 1.2} \quad \text{en Kg/seg.}$$

para obtener la masa en m<sup>3</sup>/hora se multiplica por el factor 3.6.

Factor de conversión de: segundos a hora  $\times 3600$

kg a m<sup>3</sup>  $\div 1000$

Kg/seg.  $\times 3600/1000 = \text{kg/seg.} \times 3.6 = \text{m}^3/\text{hora}$

Por ejemplo si tenemos un pozo cuya profundidad de bombeo es de 25 mts., que está ubicado en un lugar - donde la velocidad media del viento es de 4.5 mts./seg. y que tiene una  $K = 2.5$ ; la obtención del volumen de -- agua que extraerfa el molino serfa:

$$\text{para } \bar{V} = 4.5 \text{ mts./seg.}$$

$$K = 2.5$$

De tablas (Pág.100 renglón 2)

$$E_n = 1413.11 \text{ Kw/1000 horas}$$

$$E_n = 1413.11 \times \frac{10^3}{1000} = 1413.11 \text{ watts}$$

$$h = 25 \text{ mts.}$$

Sustituyendo en ecuación (1)

$$m = \frac{1413.11}{(9.8) (25) (1.2)} = \frac{1413.11}{294} = 4.80649 \text{ Kg./seg.}$$

o aplicando el factor de conversión de Kg./seg. a -- m3/hora.

$$m = 17.3033 \text{ m3/hora}$$

### 3.3.2 Necesidades de agua para diversas aplicaciones

Con objeto de poder definir hasta que grado -- puede ser de utilidad el molino de viento en diferen--

tes aplicaciones, a continuación se listan tres tipos - de consumo: humano, ganadero y agrícola. (24)

1) Consumo humano:

Zona rural con toma domiciliaria	100 lts. diarios/persona
sin toma domiciliaria	25 lts. diarios/persona
Zona urbana con toma domiciliaria	200 lts. diarios/persona

2) Consumo ganadero:

Caballo, burro, mula, buey	35 lts. diarios/animal
Vaca lechera (bebida y aseo del establo)	95 lts. diarios/animal
Vaca lechera (solo bebida)	45 lts. diarios/animal
Cerdo (bebida y aseo de porqueriza)	15 lts. diarios/animal
Cerdo (solo bebida)	8 lts. diarios/animal
Oveja, chivo	15 lts. diarios/animal
Pollos	15 lts. diarios/100 animales
Guajolotes	25 lts. diarios/100 animales

3) Consumo agrícola:

En este punto es necesario aclarar que el consumo/ hectárea anual que se tiene para un cultivo varía grandemente de un lugar a otro, dependiendo del tipo de tierra, el clima y demás condiciones. De la cantidad de agua que se le proporcione a un cultivo depende su pro--

ductividad, de modo que el que se pueda obtener una cosecha de un cultivo específico con una cantidad determinada de agua no quiere decir que con menos agua no se pueda obtener, sino que con menos agua su rendimiento - (toneladas de producto/hectárea) será menor. Partiendo de la relatividad que puede tener el definir los volúmenes por hectárea para cualquier cultivo con base en estos factores, se pueden presentar las siguientes cifras como un estimado orientativo.

CUADRO No. 10  
VOLUMEN DE AGUA CONSUMIDO POR TIPO DE CULTIVO

	m <sup>3</sup> /hectárea anualmente
Arroz	30,000
Alfalfa	21,000
Caña de azúcar	17,000
Jitomate	13,000
Trigo	9,200
Sorgo	8,000
Mafz	7,200
Frijol	7,000

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Plan Nacional Hidráulico 1981, Comisión del Plan Nacional Hidráulico, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, 1981. p. 46.

### 3.3.3 Análisis del Viento en México

La Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional ha obtenido la información de los registros de viento que se listan en el Cuadro No. 11. En éste se muestran los promedios anuales correspondientes a los observatorios respectivos. Cabe mencionar que la información sobre viento en el territorio nacional ha presentado muchas dificultades de normalización debido a la gran variedad de tipos y marcas de los equipos de medición; el tiempo que llevan funcionando unos es mucho mayor que otros los cuales no se han verificado que estén dando mediciones correctas. A lo anterior hay que agregar la variedad de unidades en las que se han estado tomando los datos.

Si bien es limitada la información que se tiene, tanto en cuanto a puntos de medición como a confiabilidad, puede ofrecer un panorama general. Es importante hacer notar que con base en estos datos no se puede regionalizar las características del viento para un Estado. Por ejemplo Coahuila tiene velocidades de 6.2 mts./seg. en Piedras Negras y de 2 mts./seg. en Saltillo.

CUADRO No. 11  
DISTRIBUCION DE LOS VIENTOS EN MEXICO

L U G A R	VEL. VIENTO (mts./seg.)
Tuxtla Gutiérrez, Chis.	2.15
Cd. Obregón, Son.	3.75
Comitán, Chis.	2.20
Manzanillo, Col.	5.20
Piedras Negras, Coah.	6.20
Mérida, Yuc.	3.60
Progreso, Yuc.	2.30
La Bufa, Zac.	3.30
Tacubaya, D.F.	2.00
Puebla, Pue.	1.10
Querétaro, Qro.	1.50
Cozumel, Q. Roo	3.00
Chetumal, Q. Roo	2.00
Saltillo, Coah.	2.00
Monclova, Coah.	3.00
Campeche, Camp.	2.20
Puerto Cortés, B. C.	5.40
Tapachula, Chis.	1.10
Cd. Las Casas, Chis.	1.30
Chihuahua, Chih.	4.90
Colima, Col.	1.40
Ensenada, B. C.	2.00
Aguascalientes, Ags.	1.00
Guaymas, Son.	4.20
Pachuca, Hgo.	5.20
Cd. Guzmán, Jal.	3.20
Guadalajara, Jal.	3.00
Monterrey, N. L.	4.00
Oaxaca, Oax.	2.30
Puerto Angel, Oax.	1.50
Salina Cruz, Oax.	7.5
Villahermosa, Tab.	2.20
Tlaxcala, Tlax.	4.50
Tampico, Tamps.	2.30
Córdoba, Ver.	1.50
Orizaba, Ver.	2.00
Tuxpan, Ver.	2.50
Veracruz, Ver.	5.40
Jalapa, Ver.	2.20
Cd. Lerdo, Dgo.	1.70
Durango, Dgo.	3.70
Guanajuato, Gto.	3.90
Toluca, Méx.	4.20
Morelia, Mich.	4.00
Zamora, Mich.	2.40
Tepic, Nay.	2.20
Salamanca, Gto.	1.50
Acapulco, Gro.	5.00
Chilpancingo, Gro.	2.00
Torreón, Coah.	2.80
La Paz, B. C.	3.00

### 3.3.4 Estudio de Casos Específicos

Con base en la información que se tiene del Cuadro No. 5, donde se reflejan los pozos típicos a encontrar por Estado; y a la información de viento de los observatorios y estaciones climatológicas del Cuadro No. 11, se definirán los volúmenes de agua a obtener en 6 casos específicos.

La selección de los 6 casos se hizo en función de sus características eólicas, de modo que se tienen velocidades medias del viento desde 7.5 mts./seg. hasta 2 mts./seg.

Los litros por día y metros cúbicos por año a obtener en estos casos se muestra en el Cuadro No. 12.

CUADRO No. 12  
VOLUMENES DE AGUA A OBTENER EN 6 ESTADOS

L u g a r	Vel. media viento (1)	K	Prof. bombeo (2)	Lts./seg.	Lts./dfa	m <sup>3</sup> / a ñ o
Oaxaca	7.5 mts./seg.	1	21.65	4.76	411,156	150,072
		2	25.22	7.61	657,481	239,980
		3	28.22	9.44	815,564	297,680
Coahuila	6 mts./seg.	1	45.50	2.19	189,275	69,035
		2	46.83	3.91	337,546	122,204
		3	47.54	4.78	412,755	150,636
Querrero	5 mts./seg.	1	22.24	4.18	360,837	131,708
		2	30.10	5.01	432,447	157,343
		3	30.15	5.01	432,447	157,343
Michoacán	4 mts./seg.	1	15.24	5.24	453,061	165,367
		2	16.23	5.91	510,439	186,310
		3	14.97	5.04	435,606	158,996
Quintana Roo	3 mts./seg.	1	23.90	2.43	210,383	76,790
		2	23.35	1.69	146,122	53,335
		3	22.94	1.10	95,465	34,845
Tabasco	2 mts./seg.	1	8.02	3.47	299,889	109,459
		2	7.14	0.84	72,235	26,366
		3	6.96	0.23	19,969	7,289

(1) Estas velocidades aunque no corresponden a todo el Estado, se puede afirmar que existen al menos en una área, por medio del Cuadro No. 11.

(2) Para calcular la profundidad de bombeo se estima, según la cantidad de litros por segundo que se extraigan, la profundidad a la que se va a abatir el nivel del agua en el pozo al empezar el bombeo, y se le agrega un par de metros para asegurar que la bomba nunca trabaje en seco.

Es importante en estos ejemplos, notar la relación entre velocidad media y profundidad del pozo, por una parte; que con vientos altos se puede extraer altos volúmenes en pozos profundos, y viceversa. Por otra parte, la diferencia en rendimientos con diferentes factores  $K$ . Con vientos de 2 mts./seg. se puede observar que para una  $K = 1$ , que da variaciones más extensas de la media, habrá vientos mayores a 2 mts./seg. con más frecuencia, que podrán ser aprovechados por el molino. Con vientos de 4.5 mts./seg. en adelante, entre más centrada sea en su forma la distribución de vientos (con  $K$  lo más cerca de tres), el viento se desviará poco de esta media, donde el molino aprovecha más energía.

Con los volúmenes de agua que se obtienen en los casos de Coahuila (que tiene una velocidad alta y un pozo profundo) y Quintana Roo (con una velocidad media-baja y un pozo de profundidad media), se definirán las necesidades que pueden satisfacer para diferentes aplicaciones.

CUADRO No. 13

NUMERO DE PERSONAS Y ANIMALES A LOS QUE PUEDE DAR SERVICIO

P o z o	Its. diarios	Número de Personas a las que puede - dar servicio		Número de animales a los que puede dar servicio							
		Zona Rural	Zona Urbana	Caballos	Vacas	Bebida y establo	Cerdos	Bebida y porqueriza	Ovejas o chivos	Pollos X100	Guajolotes X100
Coahuila	189,275	1,392	946	5,408	4,206	1,992	23,659	12,618	23,659	12,618	7,571
	337,546	3,375	1,687	9,644	7,501	3,553	42,193	22,503	42,193	22,503	13,502
	412,755	4,127	2,063	11,793	9,172	4,345	51,594	27,517	51,594	27,517	16,510
Quintana Roo	210,383	2,103	1,051	6,011	4,675	2,215	26,298	14,026	26,298	14,026	3,415
	146,122	1,461	730	4,175	3,247	1,538	18,265	9,741	18,265	9,741	5,845
	95,465	954	477	2,728	2,121	1,005	11,933	6,364	11,933	6,364	3,819

NUMERO DE HECTAREAS POR CULTIVO QUE SE PODRIAN CULTIVAR

P o z o	M3/año	Arroz	Alfalfa	Caña de azúcar	Jitomate	Trigo	Sorgo	Mafz	Frijol
Coahuila	69,035	2.3	3.2	4	5.3	7.5	8.6	9.5	9.8
	123,204	4.1	5.8	7.2	9.4	13.3	15.4	17.1	17.6
	150,656	5	7.1	8.8	11.5	16.3	18.8	20.9	21.5
Quintana Roo	76,790	2.5	3.6	4.5	5.9	8.3	9.6	10.6	1.9
	53,335	1.7	2.5	3.1	4.1	5.8	6.6	7.4	7.6
	34,895	1.1	1.6	2	2.6	3.7	4.3	4.3	7.9

### 3.3.5 Conclusiones.

Del Cuadro No. 13 se pueden obtener algunas conclusiones importantes:

1.- El bombeo de agua potable para zonas urbanas con el molino es poco atractivo, ya que en el mejor de los casos considerados, proporcionaría volúmenes suficientes para solo dos mil personas por lo que se requeriría de una red de molinos para satisfacer las necesidades de un pequeño fraccionamiento o colonia. Además, las zonas urbanas cuentan con una infraestructura intensiva en capital, por lo que la inversión en bombas eléctricas de gran capacidad no es importante en relación al total de la inversión en infraestructura. Por otra parte, con las necesidades crecientes de las ciudades, su solución para obtener agua está en los sistemas de conducción como el de Lerma para la Ciudad de México y el de Chapala para Guadalajara.

2.- En el caso de bombeo para fines de riego, puede ser una solución para pequeñas parcelas. Aquí, sin embargo, cabe mencionar que los cultivos no requieren de agua de manera constante, sino que en unos periodos del cultivo se requiere de grandes cantidades y en otros de muy poca. Debido a esto, se requerirían de almacenes que fueran guardando el excedente de las ocasio

nes en las que se requiere poco riego y de este modo -- tener disponibilidad del recurso cuando se hace el riego intensivo.

3.- Los usos en los que mejor se adapta el bombeo con el molino es para las necesidades pecuarias y de agua potable en zonas rurales. En el caso de bombeo para fines pecuarios, puede satisfacer los volúmenes requeridos por grandes ranchos ganaderos o granjas avícolas. Del mismo modo, para pequeñas comunidades rurales con poca infraestructura, puede ser el medio más apropiado para un sistema de agua potable.

### 3.4 EVALUACION DEL MOLINO DE VIENTO CON RESPECTO A OTRAS ALTERNATIVAS

#### 3.4.1 Alternativas de Inversión

3.4.1.1 La primera opción que se le presenta, a una persona que requiere energía eléctrica para bombeo de agua, es obtenerla de la red eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad. Una instalación de este tipo está compuesta por dos inversiones diferentes: la primera es, en caso de que pueda proveerse energía de la red de la CFE, el posteo y cableado de la red -

eléctrica al punto de consumo. El costo de este postea do y cableado varía de un punto de la República a otro. Una media de este costo (con variaciones máximas de  $\pm$  \$200,000.00) sería de \$1'300,000.00 por km.\*. El cable considerado es el de la capacidad más baja que maneja - la CFE, y es de 13,200 volts.

La segunda inversión que se requeriría, sería - la instalación de una subestación rural para proporcionar la energía con las especificaciones requeridas por la bomba. Dicha instalación tendría un costo de - - - \$740,930.00 (Ver Anexo 2).

Se le denominará al sistema que presenta esta - primera alternativa como sistema de subestación rural.

3.4.1.2 La segunda opción a considerar es el - invertir en una planta diesel para generar la energía - eléctrica necesitada por la bomba. Una instalación de - este tipo tendría un costo de \$3'254,000.00 (Ver Anexo - 3), con un mantenimiento anual de \$57,600.00 (Ver Anexo 4).

La vida útil de dicho equipo, tomando en cuenta

\* Fuente: entrevista personal con el Ing. José Antonio Dávila del Real, Departamento de Electrificación Rural, Comisión Federal de Electricidad.

el mantenimiento previsto, es de quince años.\* Después de dicho período el equipo sigue teniendo un valor comercial como chatarra. Considerando el peso del equipo dicho valor sería de \$15,000.00 (Anexo 5).

3.4.1.3 La tercera opción a considerar es el molino de viento. Como ya se detalló en el costo del prototipo construido fue de \$6'468,707.00. El costo del mantenimiento anual, el cual consiste básicamente en una limpieza y engrasado de las piezas sujetas a fricción es de \$24,000.00 (Ver Anexo 4). En cuanto al valor comercial que tendría al concluir su vida útil éste sería de \$69,325.00 de acuerdo al precio de la chatarra de aluminio y de fierro (Ver Anexo 6).

Para el análisis se considerará que este sería el costo del molino a nivel comercial. Esto es válido para la comparación que se hará, ya que en una fabricación comercial debido a las economías de escala y a la curva de aprendizaje de los operarios, el costo sería forzosamente inferior al costo incurrido en fabricar el prototipo. Al tomar el costo del prototipo se está, en todo caso, haciendo una estimación conservadora de lo -

\* Fuente: Entrevista personal con el Sr. Julio Herrera, Maquinaria IGSA, S.A. de C.V.

que sería su precio al consumidor.

3.4.2 Definición de una metodología para hacer una comparación financiera entre las alternativas.

3.4.2.1 Marco de referencia

Se ha comprobado hasta este punto que el molino puede ser utilizado satisfactoria y adecuadamente para diversas actividades. Ahora es necesario definir sus ventajas y desventajas con respecto a las alternativas que se le presentarían a un comprador potencial.

En los siguientes cuatro puntos se expone el marco conceptual dentro del cual se analizarán los principales métodos de Ingeniería Económica para evaluar las ventajas financieras de las alternativas a considerar.

1.- Se tomará la posición de un posible consumidor del molino, el cual necesita decidir sobre la alternativa que más le conviene.

2.- Ya sea que se tome como referencia a un individuo, una familia, una empresa, un negocio o un gobierno, se considera que los anteriores tienen limita--

ciones en los recursos que disponen para la inversión - en activos físicos. Por lo tanto, el criterio primario, será el de optimizar el capital a destinar para estas - inversiones.

3.- Para optimizar el uso del capital a inver- tir, se cuantificarán en unidades monetarias las conse- cuencias de usar uno u otro sistema. Como estas conse- cuencias se dan en un futuro y se reflejan como desem- bolsos de dinero, es necesario hacer suposiciones del - valor del dinero en el tiempo para medir los beneficios de uno u otro sistema.

4.- Las diferencias relevantes entre los siste- mas, que pueden tener consecuencias en el futuro, pero\_ que no son reducibles a términos monetarios, se analiza rán cualitativamente y se tomarán en cuenta como un cri- terio secundario.

#### 3.4.2.2 Definición de la metodología

A continuación se consideran cuatro métodos di- ferentes para comparar alternativas que implican una se- rie de erogaciones e ingresos de dinero a través de un\_ periodo de tiempo determinado.

1: El costo anualizado dada una tasa de interés.

2. El valor presente dada una tasa de interés.
3. La relación de beneficio-costo.
4. La tasa interna de retorno.

Ahora bien, para el caso a considerar, se tienen tres alternativas que implican una inversión inicial y una serie de erogaciones por un periodo de quince años, para obtener como beneficio energía eléctrica para bombear agua.

Se considera que la forma más clara para comparar las alternativas es el conocer el costo por kilowatt para cada una. Debido a que el costo por kilowatt va a depender de la cantidad de energía producida, se calculará el costo por kilowatt/hora para un rango de producción anual que irá desde 1,000 kilowatts al año, hasta 25,000 kilowatts al año.

Para lo anterior es necesario hacer el total de las erogaciones para cada caso, equivalentes a un costo anualizado, el cual se relacionará con la energía producida para obtener el costo por kilowatt/hora.

De esta forma se está haciendo uso del método del costo anualizado, y utilizando también una relación de costo-beneficio.

### 3.4.2.3 Definición de variables que intervienen en la comparación financiera.

Para proceder a hacer la comparación entre las alternativas hay que definir dos tipos de variables antes de proseguir. La primera es el flujo de caja a considerar para cada alternativa, tomando en cuenta producciones de energía 1,000, 5,000, 10,000, 15,000, 20,000 y 25,000 kilowatts anuales. La segunda variable a definir es la tasa de interés a considerar para hacer equivalente los flujos de caja a un costo anualizado.

#### Flujo de Caja para la Subestación Rural.

Para esta alternativa se considerarán tres casos, en el primero se considerará 1 Km de cableado y posteado de la red eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad al punto de consumo, 3 Km para el segundo caso y 5 Km para el tercero.

Casos	1	2	3
Año 0	2'040,930	4'640,930	7'240,930
Año 1 a 15	\$3.00 por cada kilowatt/hora consumido (Tarifa No. 9 de la Comisión Federal de Electricidad).		

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## Flujo de caja para la planta diesel.

Año 0	3'254,000.00	Planta diesel
Año 1 al 15	57,600.00	Mantenimiento
	12.60*	por cada kilowatt producido.
Año 15	- 15,000.00	recuperación de - venta como chata- rra.

\* Eficiencia planta diesel = 2.73 kilowatts por litro -  
de diesel consumido.

Precio vigente de Pemex por litro de diesel: \$34.40

## Flujo de caja para el molino de viento

Año 0	6'468,707.00	Molino de viento
Año 1 al 15	24,000.00	Mantenimiento
Año 15	- 69,325.00	Recuperación por_ venta como chata- rra.

Obtención de tasa de interés para el período de  
1985 a 2000.

En base al reporte de mayo de 1985 del modelo --  
económico de México desarrollado por Wharton Econome-

tric Forecasting Associates, se obtuvieron las tasas de interés de Certificados de Depósito a 6 meses. Como dichas tasas de interés están influenciadas por la inflación, se consideró la tasa inflacionaria para cada año para encontrar la tasa real equivalente durante 1985 a 2000.

Debido a que el reporte de Wharton solamente -- considera hasta 1992, los años de 1993 a 2000 fueron -- pronosticados para el método de regresión lineal, obteniendo para la tasa de inflación un coeficiente de correlación de -0.96, y para la tasa de interés de -0.88.

Año		Tasa de inflación	Tasa de interés	
	1	1986	40.83	39.90
	2	1987	38.68	37.10
	3	1988	38.00	36.20
	4	1989	36.20	35.20
	5	1990	35.40	34.90
	6	1991	35.70	34.60
	7	1992	34.50	34.70
	8	1993	33.11	32.96
	9	1994	32.12	32.17
	10	1995	31.14	31.39
	11	1996	30.16	30.61
	12	1997	29.17	29.83
	13	1998	28.19	29.05
	14	1999	27.20	28.26
	15	2000	26.22	27.48

Para obtener la tasa de interés real, equivalente a la serie de tasas de interés de 1986 a 2000 toman-

do en cuenta la serie de tasas de inflación, se hicieron las siguientes consideraciones:

Si se tiene una anualidad hipotética de \$10,000 y es sometida a las tasas de inflación del período que se está considerando, se obtendría la siguiente relación:

Año		Anualidades
1	1986	14,083.00
2	1987	19,530.30
3	1988	26,951.82
4	1989	36,708.38
5	1990	49,703.15
6	1991	67,447.17
7	1992	90,716.44
8	1993	120,752.65
9	1994	159,538.41
10	1995	209,218.67
11	1996	272,319.02
12	1997	351,754.43
13	1998	450,914.06
14	1999	573,562.68
15	2000	723,950.82

Ahora bien, dicha serie de anualidades se puede hacer equivalente al valor presente tomando en cuenta las tasas de interés definidas de lo cual se obtiene -- que

Valor presente = 155,495.91

Anualidad original = 10,000.00

Período considerado n = 15

de donde podemos obtener la tasa de interés real

$$i = -0.4465.$$

Esta tasa de interés permitirá hacer equivalente una serie de anualidades a valor presente, o un valor presente a una serie de anualidades.

### 3.4.3 Comparación financiera

En la tabla siguiente se definen las anualidades que se tendrían en cada caso considerando únicamente el costo de producción de energía y de mantenimiento.

	Alternativas		
	Subestación Rural	Planta Diesel	Molino de Viento
1,000 K/año	3,000	70,200	24,000
5,000	15,000	120,600	24,000
10,000	30,000	183,600	24,000
15,000	45,000	246,600	24,000
20,000	60,000	309,600	24,000
25,000	75,000	372,600	24,000

La equivalencia a un costo anualizado de las inversiones para cada alternativa, así como de su valor de recuperación al final de la vida útil se define a --

continuación:

	Subestación rural			Bomba Diesel	Molino de Viento
	Caso 1	Caso 2	Caso 3		
Inversión inicial	2'040,930	4'640,930	7'240,930	3,254,000	6'462,707
Equivalencia a costo anualizado (A/P,i,n)	131,252.61	298,459.12	465,665.63	209,265.38	416,003.22
Valor de recuperación	-	-	-	-15,000	-69,325
Equivalencia a costo anualizado (A/F,i,n)	-	-	-	- 1,031.63	- 4,767.94

i = -0.4465

n = 15 años

## Costo Anualizado Total

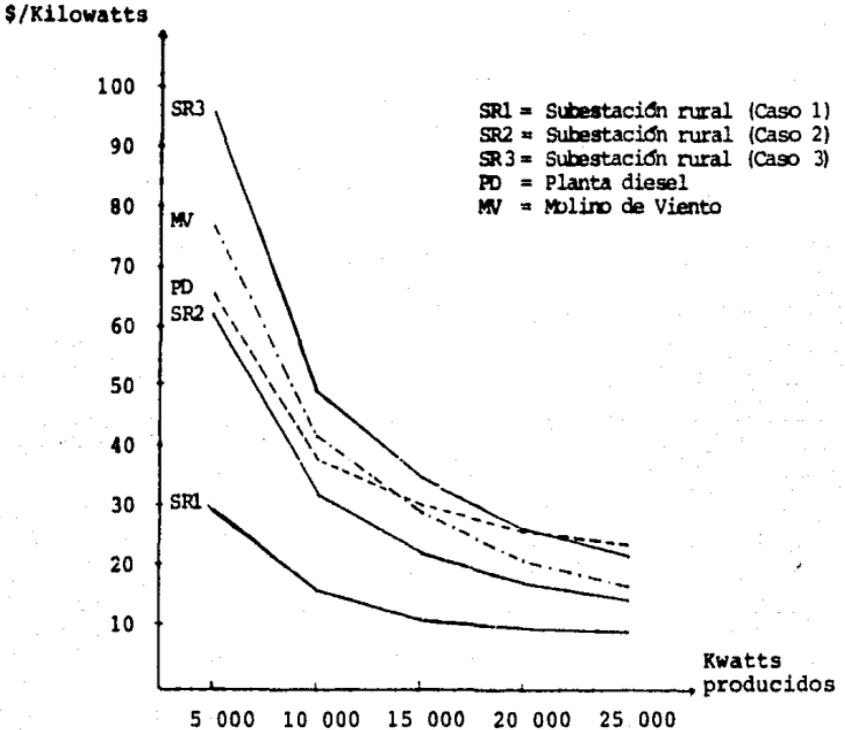
Energía Producida	Subestación Rural			Planta Diesel	Molino de Viento
	Caso 1	Caso 2	Caso 3		
1000 K/año	134,252.61	301,459.12	468,665.63	278,433.75	435,235.98
5000	146,252.61	313,459.12	480,665.63	328,833.75	435,235.98
10000	161,252.61	328,459.12	495,663.63	391,833.75	435,235.98
15000	176,252.61	343,459.12	510,665.63	454,833.75	435,235.98
20000	191,252.61	358,459.12	525,665.63	517,833.75	435,235.98
25000	206,252.61	373,459.12	540,665.63	580,833.75	435,235.98

## Costo por Kilowatt producido (Peso/Kwatt)

Energía Producida	Subestación Rural			Planta Diesel	Molino de Viento
	Caso 1	Caso 2	Caso 3		
1000 Kwatt/año	134.25	301.46	468.67	278.43	435.25
5000	29.25	62.69	96.13	65.77	87.05
10000	16.13	32.85	49.57	39.18	43.52
15000	11.75	22.90	34.04	30.32	29.02
20000	9.56	17.92	26.28	25.89	21.76
25000	8.25	14.94	21.63	23.23	17.41

Para fines de analizar más claramente las cifras de este cuadro se graficaron los resultados en la siguiente página.

## GRAFICA DE RESULTADOS



Con base en las gráficas anteriores se puede afirmar que el molino de viento, cuando existan condiciones eólicas que le permitan producir un mínimo de 15 000 kilowatts al año, producirá energía a un menor costo que la planta diesel.

En relación a la subestación rural, el molino será más económico para casos en los que se tenga que in-

vertir en 5 o más kilómetros de cableado. Si dicha inversión es de 3 kilómetros o menos, la opción de la subestación rural será más atractiva.

#### 3.4.4 Factores no reducibles a términos monetarios.

En la comparación económica desarrollada, se asumió la existencia de limitaciones en los recursos que se destinan a la inversión en cualquier tipo de activos, por lo que el criterio primario era la optimización del capital. Al comparar el costo total de las alternativas en relación al molino de viento, este ha probado ser la alternativa más económica en algunos casos. -- Ahora bien, debido a que cada sistema tiene bondades no reducibles a términos monetarios que solamente aflorarán en ciertas condiciones, el análisis de estas es necesario para completar la evaluación cuantitativa efectuada.

Analizando primeramente a nuestro consumidor potencial el molino encuentra una limitación en cuanto a su adaptabilidad a las necesidades de éste. Un molino de viento siempre proporcionará la misma cantidad de energía en función de las características eólicas del lugar donde se ubique. Con esta energía el molino podrá extraer una cantidad máxima de agua dependiendo de

la profundidad del pozo con el que trabaje. Debido a - que las probabilidades de que un molino provea las nece sidades que exactamente tiene un consumidor potencial, - este siempre producirá un exceso o un faltante de la -- energía requerida por el consumidor.

Por otra parte las necesidades de un consumidor pueden ir cambiando con el tiempo y hay que plantear si con necesidades que van en incrementar el molino es una \_ alternativa confiable.

Definitivamente una subestación rural o una bom ba diesel tienen una mayor adaptabilidad a las necesida des de un consumidor, pero hay que reconocer que estas \_ también son adquiridas con un exceso de capacidad del - que se requiere, y al igual que el molino no producen - exactamente las necesidades del usuario, estas alterna- tivas nunca son usadas al 100% de su capacidad. Por - - otro lado ya que la energía que produce el molino no in- volucra una erogación de dinero, esta puede usarse para otros fines que no sean la extracción de agua como la - iluminación, refrigeración, etc. Para el caso de un - incremento en las necesidades del consumidor, si estas \_ son en el corto plazo el molino se verá limitado ya que con la misma instalación de una subestación rural se -- puede doblar o triplicar la energía que requeriría de -

dos o tres molinos. Considerando que las necesidades de energía se incrementen lentamente, el molino puede ser una solución a corto plazo y en el momento en que sea insuficiente puede seguir aportando una parte de la energía requerida.

Un segundo factor que limita al molino es que, aunque el viento tenga una distribución de velocidades que garantice una determinada producción de energía, este no deja de ser un fenómeno aleatorio, por lo que siempre hay probabilidad de que falte energía. Esto es un proceso que requiere de forma constante e inaplazable una cantidad de agua, corre altos riesgos con el molino. Para prevenir esto se pueden usar tanques de agua los cuales el molino constantemente esté llenando, con lo que en los períodos en los que no se requiere agua se reponga el volumen que se consume en horas pico; manejando aparte un volumen de seguridad para los casos en los que el viento falle y no se puedan recargar los tanques.

Tomando en cuenta las circunstancias descritas, se puede concluir que el molino, aunque económicamente superior con respecto a la bomba diesel y a la subestación rural, resulta práctico en condiciones en las que las necesidades tengan un crecimiento moderado; y no --

sea. volúmenes muy altos que se requieran de forma cons  
tante e ininterrumpida.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio se inició con un análisis de las fuentes y usos del agua en el país. Continué con el desarrollo de un método para definir las cantidades de agua que se podían extraer con el molino, y en base a estas cantidades se analizó para qué tipo de actividades podía aplicarse. Por último se evaluó qué tan atractivo era desde el punto de vista financiero para un usuario potencial. A continuación se hará un breve resumen de las conclusiones a las que se arribaron en estas diferentes partes del estudio, con objeto de tener un panorama completo de la información obtenida.

Puntos más relevantes con respecto a la extracción y usos del agua.

- La extracción subterránea representa el 10%\* de la extracción total.
- El 93%\*\* de la extracción subterránea se usa con fines agrícolas.
- El potencial de extracción subterránea -- permite todavía un incremento del 95%\*\*\* de este tipo de extracción.

\* Ver página 31.

\*\* Ver página 31.

\*\*\* Ver página 18.

Puntos más relevantes con respecto a las posibles aplicaciones del molino.

- Las actividades para las que se puede usar son para la extracción de agua con fines agropecuarios, y para proveer de agua potable en zonas rurales.
- Dentro de estas actividades, aunque el agua proveniente de los almacenamientos naturales y artificiales es mayor que la subterránea, está limitada por la ubicación geográfica de las presas. Así mismo las lluvias, por su irregularidad en su distribución geográfica, su concentración en pocos meses del año y su variabilidad de un año a otro, no son una fuente confiable para fines agrícolas.

Puntos más relevantes de la comparación financiera y cualitativa.

- El molino será una inversión más atractiva para zonas en las que se tenga poca infraestructura (donde el cableado de la Comisión Federal de Electricidad se encuentre a 5 km o más de distancia a el punto

de consumo).

- Va a estar limitado por las condiciones eólicas del lugar para producir energía necesaria. La velocidad media del viento mínima deberá ser de 4 metros por segundo para producir un mínimo de 15 000 kilowatts anuales.
- Para preveer la variabilidad del comportamiento eólico, sería necesaria la construcción de tanques de almacenamiento de agua.
- Para actividades con un incremento dinámico en sus necesidades de agua, el molino solo proveería por un tiempo estas necesidades, contribuyendo después solo con una parte de los requerimientos de agua.

Dentro de este contexto se concluye que el molino es una fuente de energía idónea para la extracción de agua en zonas rurales con poca infraestructura por lo siguiente:

- El agua subterránea es el único recurso de agua en estas zonas.
- El molino es la fuente de energía más económica en zonas de poca infraestructura

con vientos con velocidades promedio míni  
ma de 4 metros por segundo.

- Provee de las cantidades de agua suficiente  
te para las actividades agropecuarias no\_  
intensivas a las que se dedican la gran -  
mayoría de estas comunidades en el país.

La utilidad teórica del presente estudio, es la de dar las bases para poder determinar los volúmenes de agua que se pueden extraer, teniendo el conocimiento de las tres variables que cambian para cada caso (la velocidad media del viento, la distribución de velocidades de este en el tiempo y la profundidad del pozo). Este procedimiento es necesario para el análisis de cualquier caso específico en el que se quiera evaluar la conveniencia de usar un molino con estos fines.

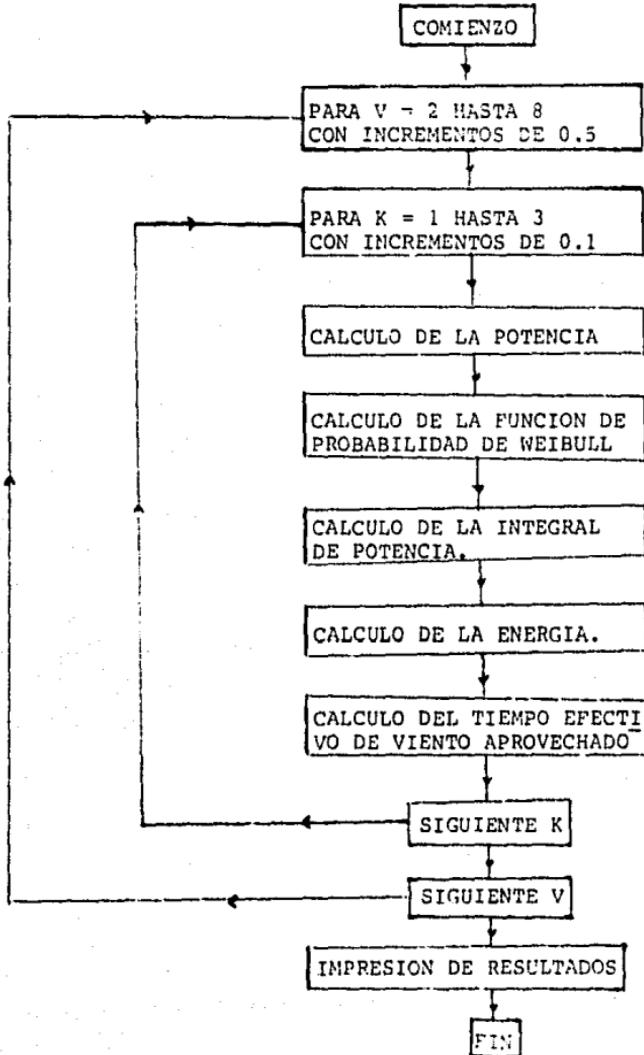
Por otra parte abre el camino para futuras investigaciones en cuanto al modo más conveniente de producir y comercializar esta fuente de energía.

Si con este trabajo se ha contribuido a fomentar el interés en las fuentes de energía renovables, -- las cuales son indispensables para mantener el equilibrio ecológico, la descentralización e independencia en el abastecimiento de energía y la mejora en la calidad

de vida de las zonas rurales, podrá darse por cumplido\_ el objetivo para el cual fué realizado.

ANEXO 1

Para hacer las tablas siguientes se hizo un programa cuyo diagrama de flujo se anota a continuación.



ENERGIA A OBTENER CON VARIACIONES DE VELOCIDAD MEDIA  
DESDE 2 HASTA 8 MTS. CON VARIACIONES DE K DESDE 1  
HASTA 3 PARA CADA VELOCIDAD MEDIA CONSIDERADA.

	Energía útil de bombeo en 1000 hrs. (KW-H)	% tiempo útil de bombeo
V. MEDIA = 2 M/S		
K = 1	327.471	18.214
1.1	294.408	18.1749
1.2	258.265	17.3352
1.3	223.048	17.2803
1.4	191.24	16.5795
1.5	163.868	15.784
1.6	140.899	14.9288
1.7	121.746	14.0371
1.8	105.68	13.1253
1.9	92.0517	12.2057
2	80.3528	11.2885
2.1	70.2072	10.3826
2.2	61.3368	9.49576
2.3	53.5337	8.63467
2.4	46.6394	7.30519
2.5	40.5308	7.01229
2.6	35.1108	6.26007
2.7	30.3006	5.55184
2.8	26.0356	4.89011
2.9	22.2612	4.27661
3	18.9304	3.7123

V. MEDIA = 2.5 M/S

K = 1	514.338	24.5288
1.1	498.854	25.5346
1.2	472.65	26.187
1.3	439.613	26.5426
1.4	403.408	26.6589
1.5	367.088	26.5902
1.6	332.826	26.383
1.7	301.858	26.0737
1.8	274.606	25.6886
1.9	250.933	25.2454
2	230.41	24.7561
2.1	212.526	24.2286

2.2	196.805	23.6691
2.3	182.853	23.0824
2.4	170.355	22.4728
2.5	159.068	21.844
2.6	148.799	21.1994
2.7	139.395	20.5421
2.8	130.735	19.8748
2.9	122.72	19.2003
3	115.268	18.5207

## V. MEDIA = 3 M/S

K = 1	684.413	29.353
1.1	696.449	31.2908
1.2	694.523	32.9039
1.3	680.786	34.2176
1.4	657.777	35.2629
1.6	594.915	36.6939
1.7	560.211	37.1553
1.8	526.091	37.4938
1.9	493.923	37.7382
2	464.492	37.9109
2.1	438.086	38.0282
2.2	414.642	38.1015
2.3	393.896	38.1384
2.4	375.502	38.144
2.5	359.114	38.1221
2.6	344.423	38.0756
2.7	331.17	38.0069
2.8	319.141	37.918
2.9	308.162	37.8108
3	298.088	37.6869

## V. MEDIA = 3.5 M/S

K = 1	826.705	32.8404
1.1	867.361	35.4814
1.2	894.518	37.8561
1.3	908.856	39.9714
1.4	911.417	41.8372
1.5	903.619	43.4682
1.6	887.2	44.8839
1.7	864.111	46.1076
1.8	836.374	47.1651
1.9	805.931	48.0833
2	774.5	48.8878
2.1	743.478	49.602
2.2	713.881	50.2454

2.3	686.347	50.8339
2.4	661.187	51.3795
2.5	638.454	51.8906
2.6	618.037	52.3734
2.7	599.731	52.832
2.8	583.299	53.2694
2.9	568.508	53.6879
3	555.147	54.0893

V. Media = 4 M/S

K = 1	939.98	35.2533
1.1	1005.6	38.3632
1.2	1059.99	41.2632
1.3	1103.06	43.9531
1.4	1134.91	46.4329
1.5	1155.87	48.7044
1.6	1166.55	50.7724
1.7	1167.83	52.6454
1.8	1160.85	54.3351
1.9	1146.94	55.8563
2	1127.55	57.2262
2.1	1104.16	58.4634
2.2	1078.21	59.5867
2.3	1050.98	60.6144
2.4	1023.57	61.5632
2.5	996.836	62.4478
2.6	971.382	63.2803
2.7	947.594	64.0705
2.8	925.654	64.8257
2.9	905.598	65.5514
3	887.358	66.2515

V. Media = 4.5 M/S

K = 1	1027.11	36.8416
1.1	1112.34	40.2222
1.2	1188.99	43.434
1.3	1256.76	46.4767
1.4	1315.37	49.3478
1.6	1404.39	54.5661
1.7	1434.85	56.9117
1.8	1456.26	59.0835
1.9	1469.1	61.0859
2	1474.06	62.9254
2.1	1471.95	64.6109
2.2	1463.75	66.153
2.3	1450.49	67.5639

2.4	1433.26	68.8567
2.5	1413.11	70.0449
2.6	1391.06	71.1417
2.7	1368	72.1599
2.8	1344.69	73.1108
2.9	1321.75	74.0046
3	1299.62	74.8499

V. MEDIA = 5 M/S

K = 1	1092.2	37.8109
1.1	1191.61	41.3085
1.2	1284.77	44.6612
1.3	1371.42	47.8711
1.4	1451.25	50.9375
1.5	1523.91	53.8586
1.6	1589.11	56.632
1.7	1646.6	59.2556
1.8	1696.24	61.7279
1.9	1737.97	64.0483
2	1771.86	66.2174
2.1	1798.12	68.2371
2.2	1817.06	70.1108
2.3	1829.12	71.8433
2.4	1834.85	73.4407
2.5	1834.9	74.9105
2.6	1829.98	76.2609
2.7	1820.84	77.5011
2.8	1820.84	78.6408
2.9	1793	79.6898
3	1775.8	80.6578

V. MEDIA = 5.5 M/S

K = 1	1139.33	38.3204
1.1	1248.13	41.8222
1.2	1352.41	45.188
1.3	1452.06	48.4233
1.4	1546.86	51.5307
1.5	1636.56	54.511
1.6	1720.87	57.3642
1.7	1799.51	60.0895
1.8	1872.21	62.686
1.9	1938.74	65.1529
2	1998.91	67.4896
2.1	2052.61	69.6957
2.2	2099.76	71.7716
2.3	2140.38	73.7182
2.4	2174.54	75.5371
2.5	2202.42	77.2309

2.6	2224.26	78.8029
2.7	2240.35	80.2571
2.8	2251.1	81.5984
2.9	2256.93	82.8325
3	2258.32	83.9655

V. MEDIA = 6 M/S

K = 1	1172.09	38.4909
1.1	1286.34	41.9169
1.2	1397.17	45.2049
1.3	1504.64	48.3638
1.4	1608.67	51.3994
1.6	1805.89	57.1164
1.7	1898.71	59.803
1.8	1987.39	62.3771
1.9	2071.74	64.8401
2	2151.54	67.1925
2.1	2226.6	69.4351
2.2	2296.74	71.5684
2.3	2361.83	73.5928
2.4	2421.74	75.5093
2.5	2476.38	77.3184
2.6	2525.72	79.0216
2.7	2569.75	80.62
2.8	2608.52	82.1157
2.9	2642.1	83.5107
3	2670.64	84.8078

V. MEDIA = 6.5 M/S

K = 1	1193.47	38.4126
1.1	1310.06	41.7083
1.2	1423.8	44.8568
1.3	1534.88	47.8698
1.4	1643.35	50.7564
1.5	1749.23	53.524
1.6	1852.47	56.1785
1.7	1953	58.7253
1.8	2050.71	61.1686
1.9	2145.5	63.5121
2	2237.24	65.7591
2.1	2325.79	67.9121
2.2	2411.02	69.9734
2.3	2492.8	71.9449
2.4	2571	73.8285
2.5	2645.48	75.6255
2.6	2716.14	77.3374
2.7	2782.86	78.9655

2:8	2845.5-	80.5109
2.9	2904.2	81.9749
3	2958.68	83.3588

V. MEDIA = 7 M/S

K = 1	1205.9	38.1529
1.1	1322.44	41.2826
1.2	1436.29	44.2516
1.3	1547.72	47.0744
1.4	1656.91	49.7627
1.5	1763.95	52.3267
1.6	1868.91	54.7752
1.7	1971.82	57.1161
1.8	2072.69	59.3563
1.9	2171.5	61.5019
2	2268.22	63.5584
2.1	2362.82	65.5307
2.2	2455.23	67.4228
2.3	2545.4	69.2387
2.4	2633.26	70.9815
2.5	2718.73	72.6542
2.6	2801.74	74.2594
2.7	2882.21	75.7993
2.8	2960.06	77.2759
2.9	3035.21	78.691
3	3107.59	80.0462

V. MEDIA = 7.5 M/S

K = 1	1211.32	37.7619
1.1	1326.02	40.7038
1.2	1437.9	43.4696
1.3	1547.27	46.0761
1.4	1654.38	48.5376
1.6	1862.51	53.0744
1.7	1963.77	55.1712
1.8	2063.29	57.166
1.9	2161.13	59.0671
2	2257.34	60.8817
2.1	2351.96	62.6165
2.2	2445.01	64.2773
2.3	2536.5	65.8696
2.4	2626.43	67.3979
2.5	2714.8	68.8666
2.6	2801.6	70.2794
2.7	2886.79	71.6398
2.8	2970.37	72.9506
2.9	3052.29	74.2146
3	3132.54	75.4342

V. Media = 8 M/S

K = 1	1211.27	37.2772
1.1	1322.84	40.0195
1.2	1431.22	42.5698
1.3	1536.8	44.9471
1.4	1639.86	47.1681
1.5	1740.63	49.2475
1.6	1839.31	51.1988
1.7	1936.06	53.0339
1.8	2031.03	54.7637
1.9	2124.34	56.3981
2	2216.1	57.9459
2.1	2306.39	59.415
2.2	2395.29	60.8127
2.3	2482.86	62.1454
2.4	2569.17	63.4188
2.5	2654.25	64.6382
2.6	2-38.16	65.8084
2.7	2820.91	66.9333
2.8	2902.53	68.017
2.9	2983.04	69.0626
3	3062.46	70.0733

# BSM

**Bombas Sumergibles Mexicanas, S. A. de C. V.**

México, D.F., a 17 de Mayo 1985.

Bosques de Ciruelos 304-6º Piso  
Col. Bosques de las Lomas  
México, D.F.

AT'N. SR. HAROLD VELAZQUEZ.  
S/REF. TELEFONICA  
N/REF. BSM-1697/85

Muy señores nuestros:

Por medio de los datos proporcionados, nos permitimos ofrecer les el siguiente presupuesto, poniendolo a su consideración:

SUBESTACION TIPO RURAL, conteniendo lo siguiente:

CANT.	DESCRIPCION	IMPORTE
1	Mod. 131-P, Clase 15 KV.	\$ 339,000.00
1	Transformador 15 KVA, 13200-220 y /127 Volts., sumergido en aceite.	\$ 250,387.50
1	Instalacion en Queretaro.	\$ 54,900.00
	SUB-TOTAL	\$ 644,297.50
	+15% IVA.	\$ 96,643.13
	T O T A L	\$ 740,930.63

Tiempo de entrega: 6 a 8 semanas.

Condiciones de pago: 50% de anticipo, 50% contra entrega.

Vigencia de esta cotización: 15 días a partir de ésta fecha.

En espera de su atento pedido, quedamos de ustedes.

**A T E N T A M E N T E .**

ING. EDUARDO CORTES ORDAS.

ANDALUCIA No. 104, ESQ. ARAGON, COL. SR. RAFAEL AZCAPOTZALCO  
02010 MEXICO, D. F. TELS. 352 25 67; 561 98 77; 561 14 31  
TELEX 172417, BOSUME

105  
ANEXO 3



**MAQUINARIA IGSA, S.A. DE C.V.**

PASEO DE LA REFORMA 5287  
05000 MEXICO, D.F.  
TEL 570-35-84 TELEX 1776340

México, D. F., a 17 de mayo de 1985.

SR. HAROLD VELAZQUEZ.  
Bosques de Ciruelos No. 304-6<sup>a</sup> Piso  
Bosques de las Lomas  
MÉXICO, D. F.

REF: AMV-5-05-1436

Muy señor nuestro:

En atención a su amable solicitud de cotización por equipo de nuestra manufactura, nos permitimos presentar a su consideración nuestro siguiente presupuesto:

UNA PLANTA DIESEL ELECTRICA marca IGSA, - modelo PP-30, para operar en sistema de 220 Volts, - C.A., 60 Hz., 3 fases, 4 hilos, con factor de potencia 0.8, que nos proporciona las siguientes características:

ESPECIFICACIONES GENERALES:

KW Continuos	30
KW Emergencia	33
KVA Continuos	37.5
KVA Emergencia	41.2
Voltaje de generación	220
Factor de potencia	0.8
Regulación de voltaje	+ 3%
Frecuencia	60 Hz.
No. de fases	3
No. de hilos	4
La capacidad de servicio continuo es a:	150 m.s.n.m.

M O T O R.

Alimentado con combustible diesel, inyección directa, enfriado por agua, lubricación por bomba de presión.

A) CARACTERISTICAS GENERALES:

Marca	PERKINS.
Modelo	4.236-6
No. de tiempos	4
No. de cilindros	4
Diámetro del cilindro	98.4 mm.
Carrera del pistón	127 mm.
Velocidad del pistón	7.62 m/seg.
Desplazamiento	3.86 lts.
Colocación de los cilindros	En línea.
Velocidad angular	1800 RPM.
Potencia máxima efectiva	50 BHP.
Sobrecarga garantizada	10%
Relación de compresión	16:1
Consumo de combustible a plena carga	11 lts./hora.
Tipo de aspiración	Natural
Capacidad del radiador	15 lts.
Capacidad del cárter	9.5 lts.
Peso neto seco (aproximado)	500 Kgs.

B) SISTEMA DE ENFRIAMIENTO, INCLUYE:

Radiador.  
 Bomba centrífuga.  
 Ventilador tipo succión.  
 Termostato.  
 Indicador de temperatura.  
 Dispositivo de protección por sobre temperatura.

**C) SISTEMA DE LUBRICACION, INCLUYE:**

Bomba de engranes.  
Filtros reemplazables de flujo total.  
Cárter con orificio de purga.  
Indicador de presión.  
Conjunto de tuberías y conexiones montadas en el motor.  
Medidor de bayoneta para nivel de aceite.

**D) SISTEMA DE COMBUSTIBLE, INCLUYE:**

Bomba de inyección.  
Bomba de transferencia integral.  
Tanque de combustible de 250 lts.  
Gobernador mecánico.  
Inyectores con atomizadores de orificio múltiple.  
Control de acelerador.  
Tablero de concentración para conexión de tuberías y mangueras.  
Tuberías y mangueras instaladas en la máquina.  
Filtro de cartucho reemplazable tipo flujo.

**E) SISTEMA DE ARRANQUE, INCLUYE:**

Motor de arranque de 12 Volts C.C.  
Interruptor de arranque y paro.  
Alternador para carga del acumulador.  
Acumulador de 80 Amps./hora, para servicio industrial pesado.  
Cables y conexiones del acumulador.  
Indicador de carga o descarga del acumulador.

**F) SISTEMA DE ADMISION DE AIRE, INCLUYE:**

Filtro de aire, tipo seco.  
Múltiple de admisión.

**G) SISTEMA DE ESCAPE DE GASES, INCLUYE:**

Múltiple de escape.  
Silenciador tipo hospital.  
Manguera flexible de acero sin costura.

GENERADOR.

El generador y el motor estarán acoplados directamente sobre una base de acero formando una unidad compacta, completa y de alineamiento permanente.

El generador será trifásico de corriente alterna constituido y aprobado por normas NEMA y ASA, con aislamiento clase F, apropiado para un mínimo de mantenimiento, sin anillos colectores, ni conmutador de delgas, ni escobillas, siendo su regulación totalmente estática, sin piezas sujetas a fricción.

A) CARACTERISTICAS PRINCIPALES:

Tipo	Sin escobillas.
Construcción	A prueba de goteo.
Capacidad en KW	30/33
Capacidad en KVA	37.5/41.2
Factor de potencia	0.8
Voltaje	220
Frecuencia	60 Hertz.
Autoexcitado	
Regulación de voltaje a plena carga	+ 2%
Velocidad angular	1900 RPM.
Eficiencia	93%
Capacidad de sobrecarga para el arranque de motores	100%
Tipo de protección	Termomagnética. De 125 Amps.

B) TIPO DE CONSTRUCCION:

Bastidor de acero totalmente soldado.  
 Campo rotatorio.  
 Acoplado al motor permanentemente por medio de -  
 cople flexible con discos de acero.  
 Alineamiento permanente.  
 Devanados amortiguadores.  
 Cajas de los baleros selladas.  
 Rodamiento sellado de bolas prelubricado.  
 A prueba de goteo.  
 Ventilador de alta eficiencia.

C) EXCITATRIZ:

Corriente alterna trifásica de alta frecuencia.  
 Rectificadores de silicio sujetos por bastidor-  
 a la flecha.  
 Rodamiento sellado de bolas.  
 Operación sin escobillas.  
 Sin conmutador de delgas.  
 Sin anillos rozantes colectores.

D) REGULADOR DE VOLTAJE:

Automático, estático, por medio de amplificador  
 y diodos de silicio.  
 Reostato de ajuste fino de voltaje.  
 Regulación de voltaje de vacío de plena carga.  
 Regulador integrado a tablero de control.

E) TABLERO DE MEDICION:

Vóltmetro C.A.  
 Ampérmetro C.A.  
 Conmutador de fases para ampérmetro.  
 Conmutador de fases para vóltmetro.  
 Transformadores de corriente.  
 Frecuencímetro.  
 Horómetro.

PRECIO L.A.B. N/ALMACENES EN MEXICO, D. F. EN M. N.

..... \$ 2'830,000.00

TIEMPO DE ENTREGA: 4-6 semanas.

VALIDEZ DE LA OFERTA: 30 días.

CONDICIONES DE PAGO: 50% de anticipo, saldo  
 c/entrega del equipo -  
 L.A.B. n/almacenes.

NOTAS:

- 1.- Nuestros precios no incluyen el I.V.A., el cual - se cargará al facturar.
- 2.- Nuestros precios están sujetos a cambio sin previo aviso, rigiendo los que en definitiva ocurran en el momento de embarque si la orden es colocada después del vencimiento de la fecha de vigencia de nuestra oferta.
- 3.- Cualquier variación superior a 0.21 pesos por dólar con respecto al Dólar de los Estados Unidos de América, ocasionará el ajuste de precios de forma directamente proporcional a dicha variación e incluye en productos pendientes de embarque.
- 4.- Por estar registrados ante SECOFIN en un Programa de Fomento, las Empresas Particulares, Organismos-Paraestatales y Entidades Federales que adquieran equipo de Maquinaria Igsa, S.A. de C.V., se hacen acreedores a un crédito fiscal contra impuestos federales del 5% del valor facturado.

SERVICIOS GRATUITOS ADICIONALES:

- 1.- Suministro de toda la información necesaria, para la correcta instalación de la planta.
- 2.- Arranque, ajuste y prueba del equipo cuando esté debidamente instalado, entregándolo a entera satisfacción de ustedes.
- 3.- Asesoría en los trámites para obtener la autorización de generación por parte del D. A., de la SEMIP.
- 4.- Memoria técnico-descriptiva de la instalación así como planos para acompañarlos con la solicitud de generación ante el D. A., de la SEMIP, (cuando ésto sea necesario).
- 5.- Revisión de la planta eléctricas a las 500 horas de operación ó 6 meses después de la instalación, lo que primero suceda.

- 7 -

6.- Garantía de nuestro equipo contra cualquier defecto de fabricación mano de obra o vicios ocultos por -- 1 año ó 1000 horas de operación, lo que primero suceda después de la fecha de embarque.

Sólo cargaremos a su cuenta los viáticos y transportes de los servicios de puesta en marcha, revisiones periódicas, - garantía, etc., que sean realizadas fuera del Valle de -- México.

Estos servicios adicionales serán proporcionados independientemente de las condiciones de pago establecidas, los - cuales deberán ser cumplidas a la entrega del equipo y NO - de los servicios adicionales.

Sin otro particular de momento y en espera de - vernos favorecidos con sus apreciables órdenes, nos repeti mos de ustedes como sus Attos. y Ss. Ss.

A T E N T A M E N T E.  
MAQUINARIA IGSA, S. A. DE C. V.



ING. ARTURO MEZA V.  
GERENTE DE VENTAS.

\*mcve.





**albateca**  
**almacenación y balanceo de locomotoras.**

México, D.F. 21 de Mayo de 1985.

DISTRIBUIDOR  
 AUTORIZADO  
 locomotoras

Sr. Harold Velázquez  
 Bosque de Ciruelos # 304 - 6° Piso  
 México, D.F.

Estimado Sr. Velázquez:

llantas

cámaras

corbatas

balanceo

almacenación

suspensión

frenos

amortiguadores

renovación

rotación

montaje

baterías

aceite

filtros

Con referencia a su amable solicitud me permito informarle lo siguiente:

Nuestra Empresa no efectúa servicios de mantenimiento a motores industriales, sin embargo por nuestra experiencia le podemos indicar en los costos que incurriría en su caso. Para un motor diesel Perkins de cuatro cilindros, el costo de mantenimiento mensual (incluyendo cambio de aceite, filtro, limpieza y engrasado) considerando que lo efectúa su personal sería de \$ 4,800.00 - (CUATRO MIL OCHOCIENTOS PESOS 00/100 M.N.).

Con referencia a la limpieza, engrasada y ajuste mensual de tornillería, del rotor, bastidor, y tornamesa del diseño mostrado, el costo del material consumido en dicho trabajo sería de \$ 2,000.00 (DOS MIL PESOS 00/100 M.N.).

Esperando lo anterior le sea de utilidad y podamos contar con su preferencia para los servicios que ofrecemos quedo de usted.

A T E N T A M E N T E .

Lic. Pablo Irujo del Collado.

zlc

Oficina central  
 av. de las Fuentes No. 38, 6to. piso  
 tel. 294-23 10, 299 73 31

Magdalena  
 av. de las Fuentes no. 43  
 1to. piso  
 tel. 299 73 31, 294-23 10

Guadalajara  
 Miguel Alemán  
 av. de las Fuentes no. 38  
 tel. 299 73 31, 299 73 31  
 México, D. F.

Guadalajara  
 Avenida de las Fuentes  
 número de tel. no. 114  
 tel. 299 73 31  
 tel. 299 73 31



ANEXO 6

Peso de las piezas que pueden ser vendi-  
das como chatarra ----- 671 Kgs.

Peso de las piezas que pueden ser vendi-  
das como chatarra de aluminio ----- 191 Kgs.

Valor del molino por su material vendido  
como chatarra:

671 Kgs. x \$ 35/Kg -----	\$ 23,485.00
191 Kgs. x \$240/Kg -----	<u>\$ 45,840.00</u>
	\$ 69,325.00
	=====



# ACERO SOLAR, S. A.

OFICINAS Y PLANTA  
 CARRETERA 22 - CALLE SURECO - GUATEMALA  
 TLANAHUAYTLA, EDO. DE MEX.  
 MEXICO  
 TEL. 222-27-22

DIRECCION POSTAL:  
 APARTADO POSTAL 21  
 TLANAHUAYTLA, EDO. DE MEX.  
 MEXICO  
 TEL. 22-7-22

Mayo 22, 1985.

SR. HAROLD VELAZQUEZ,  
 Bosques de Ciruelos No. 304-6° Piso,  
 Bosques de las Lomas,  
 México, D.F.

Sr. Velázquez:

Por medio de la presente le informo los precios a los cuales nuestra empresa está adquiriendo la chatarra que usted me especificó:

Chatarra suelta limpia de primera, a razón de \$35.00 kilo (treinta y cinco pesos 00/100 M.N.).

Chatarra suelta limpia de aluminio de primera, a razón de \$240.00 (doscientos cuarenta pesos 00/100 M.N.), por kilo.

Sin más por el momento quedo de usted,

Atentamente,

JAVIER SEGURA O.

## NOTAS

- (1) Donella H. Meadows et al, The Limits to Growth, Universe Books, Nueva York, 1974<sup>2</sup>, pp. 11-12.
- (2) Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Plan Nacional Hidráulico 1981 (Comisión del Plan Nacional Hidráulico, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, 1981). p. 18.
- (3) Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Plan Nacional Hidráulico 1981, Anexo 2, Disponibilidad de Agua y Suelo (Comisión del Plan Nacional Hidráulico, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, 1981). p. 1-4.
- (4) United States Embassy, Mexico and its Agriculture: A Developing Market, (Counselor for Agricultural Affairs, United States Embassy, México, D.F., 1981) p. 9.
- (5) Felipe Delgado Hernández, "Clasificación de las Tierras Laborables de Temporal", Econotecnía Agrícola, Dirección General de Economía Agrícola, Subsecretaría de Agricultura y Operación, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Vol. IV, - No. 11, México, Noviembre 1980, p. 11.

- (6) Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, op. cit. Plan Nacional Hidráulico 1981, Anexo 2, Disponibilidad de Agua y Suelo. pp. 1-8 y 1-13.
- (7) Frances Moore Lappe y Joseph Collins, Comer es Primero. Más allá del Mito de la Escasez. (Siglo XXI Editores, México, 1982) pp. 79-83.
- (8) Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, op. cit. Plan Nacional Hidráulico 1981, p. 21.
- (9) Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, op. cit. Plan Nacional Hidráulico 1981, Anexo 2, Disponibilidad de Agua y Suelo, p. 3-4.
- (10) Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, op. cit. Plan Nacional Hidráulico 1981, pp. 22 y 23.
- (11) La Revista Interamericana Visión, 26 de julio de 1982.
- (12) Ibidem. pp. 24 y 27.  
Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, op. cit. Plan Nacional Hidráulico 1981, Anexo 2, Disponibilidad de Agua y Suelo, pp. 4-1, 4-4, 4-6 y 4-10.

- (13) Fundación para Estudios de la Población, Usted puede cooperar a resolver el problema demográfico de México (Campaña Financiera 1981-82), p. 6.
- (14) Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, op. cit. Plan Nacional Hidráulico 1981, p. 45.
- (15) Ibidem. p. 47.
- (16) Ibidem. p. 48.
- (17) Ibidem. p. 49.
- (18) Ibidem. p. 51.
- (19) Ibidem. p. 53.
- (20) Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Plan Nacional Hidráulico 1981, Anexo 3, Usos del Agua, (Comisión del Plan Nacional Hidráulico, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, 1981), p. 2-54.
- (21) Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, op. cit. Plan Nacional Hidráulico 1981, p. 55.
- (22) D. S. Halacy Jr., Tierra, Agua, Viento y Sol. Nuestras Alternativas Energéticas (Ediciones Neuvomar, S.A., México, 1978), p. 93.

- (23) Reno C. King, Piping Handbook, Fifth edition, -  
New York 1973, Mc Graw Hill, pp. 21-4 a 21-9.
- (24) González Santos Armando, La Agricultura: Estructura y utilización de recursos, Fondo de Cultura Económica, 1967. p. 97.

## BIBLIOGRAFIA

1. Delgado Hernández, Felipe  
Clasificación de las Tierras  
Laborables de Temporal,  
Econotecnia Agrícola,  
Dirección General de Economía  
Agrícola, Subsecretaría de  
Agricultura y Operación,  
Secretaría de Agricultura y  
Recursos Hidráulicos,  
Volumen IV, No. 11,  
México,  
Noviembre 1980.
2. Donella H. Meadows et al.  
The limits to Growth,  
Universe Books,  
Nueva York,  
1974.
3. Gran, Eugene L. et al.  
Principles of Engineering Economy,  
John Wiley and Sons,  
Estados Unidos,  
1976<sup>6</sup>.

4. González Santos Armando

La Agricultura: Estructura y  
Utilización de Recursos,  
Fondo de Cultura Económica,  
México,  
1957.

5. Halacy, D. S. Jr.

Tierra, Agua, Viento y Sol  
Nuestras Alternativas Energéticas  
Ediciones Nuevomar, S. A.  
México,  
1978.

6. Moore Lappé, Frances y Joseph Collins

Comer es Primero. Más allá del  
Mito de la Escasez,  
Siglo XXI Editores,  
México,  
1982.

## 7. National Academy of Sciences

Energy for Rural Development  
Renewable Resources and Alternative  
Technologies for Developing  
Countries,

Ad Hoc Panel of the Advisory Committee  
on Technology Innovation,  
Board on Science and Technology for  
Commission on International  
Relations,  
National Academy of Sciences,  
Washington, D. C.,  
1976.

## 8. Reno C King

Piping Handbook,  
Mc Graw Hill Book Company,  
Estados Unidos,  
1973<sup>8</sup>.

## 9. Schumacher, E. F.

Small is Beautiful Economics  
as if People Mattered,

Perennial Library,  
Harper and Row, Publishers,  
Estados Unidos,  
1975.

10. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos

Atlas Geohidrológico,

Volumen 1,

Banco Nacional de Información

Geohidrológica,

Subdirección General Geohidro-

lógica y de Zonas Áridas,

Secretaría de Agricultura y

Recursos Hidráulicos,

México,

1978.

11. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos,

Desarrollo Agroindustrial,

Tecnología y Empleo,

Documentos de Trabajo para el

Desarrollo Agroindustrial, No. 3,

Coordinación General de Desarrollo

Agroindustrial,

Secretaría de Agricultura y

Recursos Hidráulicos,

12.       Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos,  
          Plan Nacional Hidráulico 1981,  
          Comisión del Plan Nacional  
          Hidráulico,  
          Secretaría de Agricultura y  
          Recursos Hidráulicos,  
          México,  
          1981.
13.       Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos,  
          Plan Nacional Hidráulico 1981,  
          Anexo 2  
          Disponibilidad de Agua y Suelo,  
          Comisión del Plan Nacional  
          Hidráulico,  
          Secretaría de Agricultura y  
          Recursos Hidráulicos,  
          México,  
          1981.
14.       Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos,  
          Plan Nacional Hidráulico 1981,  
          Anexo 3,  
          Usos del Agua,  
          Comisión del Plan Nacional  
          Hidráulico,

Secretaría de Agricultura y  
Recursos Hidráulicos,  
México,  
1981.

15. United States Embassy,

Mexico and its Agriculture:  
a Developing Market,  
Counselor For Agricultural  
Affairs,  
United States Embassy,  
México, D. F.  
1981.