

**BOMBEO FOTOVOLTAICO DE AGUA EN LA HORQUETA
DPTO. LA PAZ - CATAMARCA: diseño y
características de funcionamiento.**

R. HERRERA ; C. VIGO ; F. TORRES ; M. KISKIA;
C. RODRIGUEZ ; J. SEQUI ; A. FACTOR.
SECRETARIA DE ESTADO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA.
REPUBLICA 838 -1° P- 4700 CATAMARCA - ARGENTINA

O. DUARTE ; I. OVEJERO ; G. WITT.
OBRAS SANITARIAS CATAMARCA.

R. SCHRÖER.
COOPERACIÓN TÉCNICA ALEMANA (GTZ)

A. FABRIS.
SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

RESUMEN

La provisión de agua potable en las zonas rurales de la Provincia de Catamarca siempre ha sido un tema de difícil resolución. En primer lugar por la carencia propia que tienen de agua las zonas áridas y semiáridas, donde éste es el principal recurso escaso y luego por la falta de energía, factor indispensable para bombearla desde el subsuelo.

La falta de redes de electrificación imposibilitan el bombeo eléctrico convencional y las dificultades de acceder a los combustibles líquidos, ya sea por estar alejados de los centros comerciales o porque el costo del bombeo supera las posibilidades económicas del conjunto de la comunidad, también limitan el uso de estos equipos. Además, se torna difícil el mantenimiento de los motores y bombas dentro de un ámbito social poco preparado para esto.

Los sistemas de conversión fotovoltaica abren una nueva expectativa para salvar el problema energético, por lo menos para pequeñas y medianas poblaciones.

En este trabajo se muestra y analiza una instalación de bombeo de agua con energía fotovoltaica en una típica localidad rural del Chaco Árido Catamarqueño. Siguiendo los lineamientos fijados por el Programa, se describen las pautas que llevaron a seleccionar esta localidad y cuales son las condiciones socioeconómicas dominantes de sus pobladores.

Se muestran las pautas y criterios de diseño de la planta, en función de los requerimientos hídricos a satisfacer y del recurso solar disponible en la región, describiendo los equipos instalados y las obras de conducción, almacenamiento y de distribución comunitaria.

Se evalúa el funcionamiento integral de la planta a partir de las mediciones realizadas por un conjunto de sensores y cuya información se registra en un Sistema Móvil de Adquisición de Datos (MODAS). El procesamiento por computadora de los datos obtenidos del MODAS permite mostrar el volumen de agua bombeada, la variación del nivel dinámico, la radiación incidente. También se muestran los valores de potencia hidráulica y la eficiencia del sistema para un período de ocho meses.

INTRODUCCIÓN

A partir de los convenios de Cooperación Técnica y de Cooperación para la Investigación Científica y el Desarrollo Tecnológico, firmados entre los Gobiernos de la República Argentina y

la República Federal de Alemania, se está llevando a cabo un importante Programa de Bombeo Fotovoltaico que incluye a las Provincias de Catamarca y La Rioja.

Este Programa, que específicamente consiste en la instalación de siete (7) plantas de bombeo dentro del territorio catamarqueño, tiene como objetivo prioritario la evaluación técnico-económica de esos sistemas para la provisión de agua potable destinada a consumo humano y animal en poblaciones rurales con graves carencias energéticas.

La solución aportada hasta el momento por el bombeo fotovoltaico alienta grandes esperanzas de salvar estas situaciones que son fuertemente limitantes del desarrollo socioeconómico de estas localidades. La carencia de energía eléctrica y las dificultades de contar con otros combustibles, toman muy complicada la posibilidad de bombear agua del subsuelo.

Participan de este Programa la Sociedad de Cooperación Técnica Alemana (GTZ), por encargo del Ministerio de Investigación y Tecnología Alemán (BMFT) y del Ministerio de Cooperación Económica Alemán (BMZ); la Secretaría de Energía Eléctrica dependiente del Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos de la Nación; la Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología (SECyTCa) y Obras Sanitarias (OSCa) ambas de la Provincia de Catamarca.

La Horqueta, es una localización representativa y típica del "Chaco Árido" Argentino y fue una de las comunidades seleccionadas para la instalación de un sistema de bombeo fotovoltaico.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SOCIOECONÓMICAS DE LA HORQUETA

Es una localidad ubicada al sudoeste del Dpto. La Paz, a 180 Km de la ciudad capital de la Provincia de Catamarca. Con un régimen pluviométrico que escasamente supera los 350 mm anuales, concentrados principalmente en los meses de verano, presenta un déficit hídrico permanente que se ve reflejado en el tipo de vegetación arbórea y arbustiva y fundamentalmente en la escasez de los pastizales naturales. Por todo ello, podemos decir que el recurso limitante principal es el agua. Esta característica agroecológica es representativa de la mayor parte del territorio catamarqueño y esto induce permanentemente a buscar alternativas que permitan llegar a estas poblaciones con alguna tecnología que posibilite la dotación de agua potable.

Con un patrón de asentamiento muy disperso, cuenta con 22 familias, (que suman en total 91 habitantes), en su mayoría dedicadas a las actividades ganaderas principalmente del tipo de explotación caprina marginal. En lo referido a equipamiento comunitario y servicios sólo cuenta con una escuela del nivel primario. No existen posta sanitaria ni atención médica. El ingreso que percibe la familia proviene de la venta esporádica de su producción caprina que es desarrollada mas bien como una estrategia de supervivencia y no un sistema rentable.

Hasta el momento de la instalación fotovoltaica, existía un servicio reducido de agua potable a cargo de Obras Sanitarias (OSCa) donde el agua se extraía mediante molino de viento y se almacenaba en un tanque australiano. La población se abastecía transportando el agua hasta sus viviendas, generalmente en tachos de 200 litros. Esta situación, que es común para la mayoría de las comunidades rurales del interior provincial, presenta una serie de dificultades que en muchas ocasiones durante el año torna crítico el suministro.

Como el recurso eólico no presenta regularidad a través del año, en los períodos calmos el molino no trabaja manifestándose carencias de agua. Igualmente cuando los vientos son fuertes, obliga en muchos casos a trabar el molino para que no sufra daños en sus palas. Cuando ello ocurre por varios días, el molino debe permanecer trabado durante todo este tiempo dejando a la población sin agua o con un mínimo para consumo humano.

Como OSCa es un organismo centralizado en la capital, la atención de estos servicios reducidos en caso de roturas, tienen sustanciales demoras dejando todo ese periodo sin agua a la comunidad. Por esta razón, no es difícil encontrar que los pobladores recurren a las represas como única fuente de suministro, a pesar del alto riesgo sanitario que esto implica.

Esta localidad ha sido incluida en el Programa por reunir las condiciones según pautas prefijadas; éstas son:

- Población rural con necesidades básicas insatisfechas por su situación geográfica alejada de los sistemas convencionales de prestación de servicios.
- Con infraestructura mínima existente: perforación y por lo menos un reservorio de agua.
- Sistema de producción de agua potable ineficiente por cuanto en la zona el recurso eólico es irregular y problemas mecánicos dificultan el trabajo continuo y permanente del molino.
- Localidad ubicada en una región de buena insolación durante todo el año.

EL TRABAJO SOCIAL EN LA COMUNIDAD

La instalación de las plantas de bombeo estuvo acompañada de actividades de trabajo social con el objeto de lograr su integración y aceptación social. Este trabajo se planteó desde el inicio del Programa en etapas sucesivas.

Primera Etapa (previa a la instalación de las plantas): entrevistas familiares con fines de motivación, reuniones informativas.

Segunda Etapa (durante y posterior a la instalación de las plantas). Esta etapa fue de organización y capacitación de la comunidad. Organización para tareas de mantenimiento de la planta y atención de la misma. Capacitación sobre algunos aspectos técnicos de funcionamiento del sistema y de mejoramiento de la higiene en general.

El equipo técnico de trabajo es multidisciplinario, lo integran ingenieros agrónomos, forestales, educadores ambientalistas y educadores populares. En el trabajo social están involucrados otros organismos del Estado como la Dirección Provincial de Agricultura, el Ministerio de Bienestar Social y voluntarios de Cuerpo de Paz de los Estados Unidos de América.

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO:

El diseño del sistema de bombeo es responsabilidad de la G.T.Z.. De acuerdo a la información suministrada por Alemania se consideró emplear sistemas de bombeo de alta eficiencia, estandarizados y optimizados. Se seleccionó equipos de la firma GRUNDFOS, la que suministra ábacos en los que entrando como datos con el caudal diario y la altura manométrica total se determina el sistema de bombeo apropiado. También mediante ábacos, habiendo preseleccionado el sistema y teniendo en cuenta la radiación solar en Kwh/m² diaria se determina la potencia en Wp requerida del generador fotovoltaico.

En base a los datos de la evaluación social se determinó como consumo de la población un caudal de 15 a 20 m³/día.

Para el diseño se consideró que la localidad de La Horqueta contaba con una perforación de 8" y profundidad total de 41 metros. Se realizó un ensayo de bombeo a caudal constante, el cual determinó que el pozo, en condiciones límites podía producir hasta 12 m³/día ($Q_{m\acute{a}x} = 2 \text{ m}^3/\text{h}$), ya que a ese caudal el nivel dinámico se ubicó en 30 metros, mientras que un sondeo posterior al ensayo determinó una profundidad de pozo de 33 metros. El nivel estático medido fue de 25 metros y el caudal específico de 1,43 m³/h/metro de depresión; la altura manométrica total fue de 44 metros,

siendo el equivalente hidráulico de 528 m⁴. El valor de la radiación solar promedio se tomó de 5,5 Kwh/m².día y 6,5 hs promedio/día de funcionamiento.

SISTEMA DE BOMBEO INSTALADO:

Generador Fotovoltaico: Se instaló un conjunto de 16 paneles de 50 Wp dispuestos en dos soportes, a 30° respecto a la horizontal y orientados al norte. En cada soporte se disponen ocho paneles conectados en serie y los conjuntos así formados se conectan en paralelo en una caja de conexión estanca. Los módulos fotovoltaicos utilizados tienen 40 celdas de silicio policristalino de 10 x 10 cm² conectadas en serie y dispuestas entre dos placas de vidrio.

Inversor de Corriente Continua a Corriente Alterna: Este dispositivo convierte la potencia de corriente suministrada por los paneles en potencia de corriente alterna trifásica que se suministra al motor sumergible. El voltaje de corriente alterna y la frecuencia varían continuamente en función de la radiación, y tiene seguimiento automático del punto de máxima potencia del generador solar. El inversor es de una potencia nominal de 1500 watts y con un rendimiento del 96%, leds en el panel frontal son indicativos del estado de funcionamiento, tiene protecciones de corto circuito y por bloqueo o embalado de la bomba. El inversor controla el arranque y parada del motor para determinadas condiciones del generador solar.

Motor-Bomba: El motor sumergible está directamente acoplado a la bomba de modo que forman una sola unidad. Las partes principales del motor-bomba son de acero inoxidable. Es un motor asíncrono de 2 polos de jaula de ardilla, con líquido lubricante anticongelante y anticorrosivo; encapsulado en resina sintética.

Infraestructura de Almacenamiento de Agua: Se dispuso de un tanque elevado de P.R.F.V de una capacidad de 10.000 litros. También se utiliza un tanque australiano de 25.000 litros.

En la *figura 1* se muestra un diagrama de bloques de la forma de conexión de las principales partes eléctricas y un esquema de la disposición de las instalaciones.

MEDICIONES:

Equipo de medición instalado

Para tener una efectiva valoración de las características del bombeo se dispuso la instalación de un sistema de Medición y Registro Automático Programable provisto de 38 canales (entre canales analógicos, digitales y de cálculo). Este equipo es alimentado por un panel fotovoltaico independiente del sistema de bombeo.

Como sensores conectados al Sistema Móvil de Adquisición de Datos (MODAS) se encuentran los siguientes:

- Radiómetro (Sensibilidad: $4,73 \times 10 \text{ exp-6 V/W m-2}$) para medir la radiación solar en el plano de los paneles.
- Shunt para medir la corriente generada por los paneles fotovoltaicos.
- Derivador Potenciométrico para medir la tensión generada por los paneles fotovoltaicos.
- Sensor manométrico para medir la columna de agua sobre la bomba
- Caudalímetro ($K = 0,5 \text{ lts/Imp cuad. seco horiz.}$) para medir el caudal de agua bombeada.
- Caudalímetro ($K = 100 \text{ lts/Imp cuad. seco horiz.}$) para medir el caudal de agua que por rebalse va al tanque australiano y otros usos.
- Caudalímetro ($K = 10 \text{ lts/Imp cuad. húmedo vert.}$) para medir el caudal de agua que se envía a los grifos públicos y a la escuela (único edificio con cañería desde la planta).

Procesamiento de Datos

Los datos monitoreados, que según programa puede realizarse con intervalos de tiempo variable, normalmente se registran cada 10 minutos, es decir 6 valores de cada canal por hora. Con esta información y mediante un software específico se determinan los valores promedio diario de la radiación solar, los valores máximo y mínimo en el nivel dinámico, los valores máximo y mínimo del agua bombeada, el volumen total de agua y el promedio diario correspondiente, el promedio diario de la potencia hidráulica y la eficiencia total del sistema, todo para períodos mensuales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema de bombeo fotovoltaico en la localidad de La Horqueta ha sido instalado y puesto en funcionamiento en Agosto del año 1993.

Entre los meses de Agosto a Diciembre/93 se realizaron tareas para acondicionar el almacenamiento de agua y su distribución.

En los Gráficos 1 y 2 se muestra la curva de radiación en " W/m^2 ." y la curva de nivel dinámico en "m" para un día sin nubosidad en Diciembre/93 y Enero/94 respectivamente. Analizando el nivel dinámico vemos que mientras en el mes de Enero la curva muestra regularidad en su traza, la correspondiente al mes de Diciembre presenta marcadas fluctuaciones. Esta situación se da como consecuencia de que, para los niveles de radiación existentes, la potencia de bombeo genera un caudal tal que supera los valores de recuperación de la napa. En otros términos podríamos decir que la velocidad de salida de agua del pozo es mayor a la velocidad de ingreso al mismo. Cuando el nivel dinámico alcanza un valor tal que descubre la bomba, automáticamente se "corta" el funcionamiento por un período aproximado de 30 minutos. Este corte se produce por el accionamiento de la protección incorporada al inversor cuando ocurre el embalado del motor-bomba por trabajo en vacío. En este tiempo, el pozo recupera su nivel dinámico, favoreciendo nuevamente el bombeo hasta que el fenómeno descrito se repite.

La condición podía solucionarse bajando la bomba hasta una profundidad que equilibre el problema planteado, sin embargo esta situación debió descartarse por un problema de vejez del pozo que hacía riesgoso su funcionamiento. Entonces se apeló a quitar paneles fotovoltaicos a fin de generar una menor potencia de bombeo (menor caudal de bombeo).

La regularidad se consiguió sacando un panel fotovoltaico de la conexión en serie de cada rack, quedando 14 de los 16 conectados inicialmente, 7 en cada rack. Con la disminución en la potencia instalada, para valores de radiación similares a diciembre, se alcanzó la regularidad de bombeo (Gráfico 2) y esta continuidad de funcionamiento permite bombear actualmente aproximadamente el mismo volumen de agua para un valor determinado de la integración de radiación diaria como se indica a pie de gráficos.

Este funcionamiento con cortes ocurrió siempre que la radiación superaba los 850-900 W/m^2 , haciéndose mas notorio en Diciembre/93 cuando se disminuyó la altura del tanque de reserva elevado, de 9 a 6 metros, factor que "alivió" el trabajo de la bomba.

En la **Tabla 1** se muestran los valores mensuales de los parámetros indicativos del funcionamiento del sistema desde que se hiciera la modificación del número de paneles.

Del análisis de las mediciones realizadas se deduce que por las características del pozo el bombeo está muy ajustado en su dimensionamiento.

Se destaca que el sistema de bombeo fotovoltaico ha funcionado con total continuidad desde su puesta en operación, demostrando una alta confiabilidad. Igualmente, los sistemas electrónicos de medición y registro automático de datos y los correspondientes programas de procesamiento de la información, han funcionado óptimamente durante todo el mismo periodo.

Desde el punto de vista social, la expectativa de que la comunidad podría disponer de un excedente de agua para huertas familiares, forestación domiciliaria y hasta contar con servicio domiciliario, no pudo ser satisfecha, en razón de esta limitación del acuífero en explotación y no del sistema de bombeo.

Obras Sanitarias Catamarca (OSCa), organismo receptor del sistema y responsable de su operación y mantenimiento, no tiene dispuesta una política de cobro por el servicio de suministro, aún cuando es un tema previsto para el futuro. Actualmente los servicios reducidos de las zonas rurales, solo consideran que los usuarios abonen el costo del combustible, en los casos de que el bombeo se realice con motores de explosión.

REFERENCIAS :

- Programa de medición y evaluación dentro del Proyecto Argentino - Alemán de Bombeo Fotovoltaico. J. Martín ,et. al. - XV Reunión de ASADES - 1992.-
- Programa de Bombeo Fotovoltaico - A. Fabris , R. Schröer , et. al. - XV Reunión de ASADES-1992 .-

FIG. 1

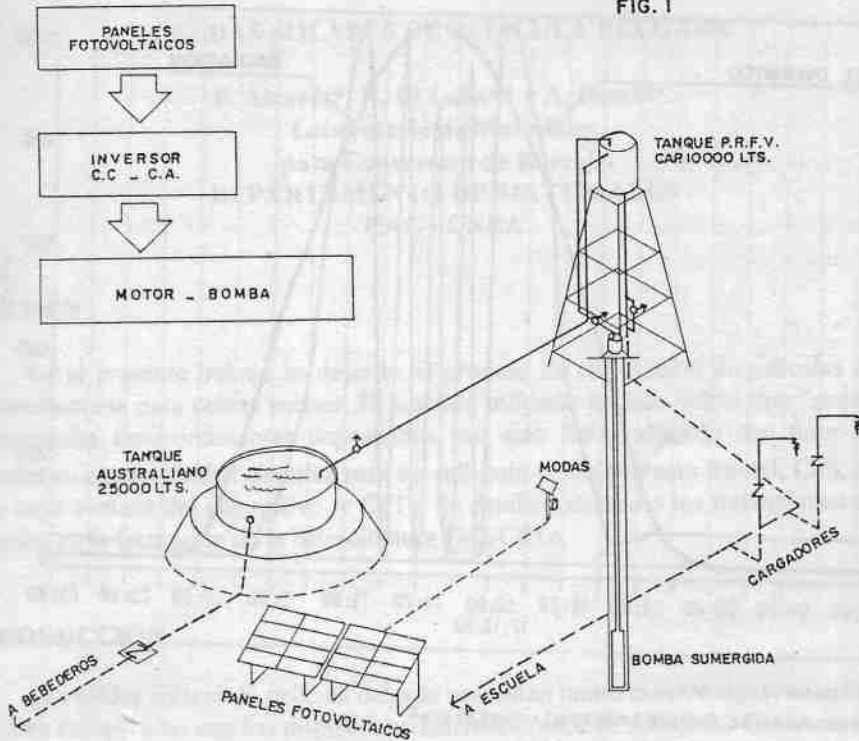


Tabla 1

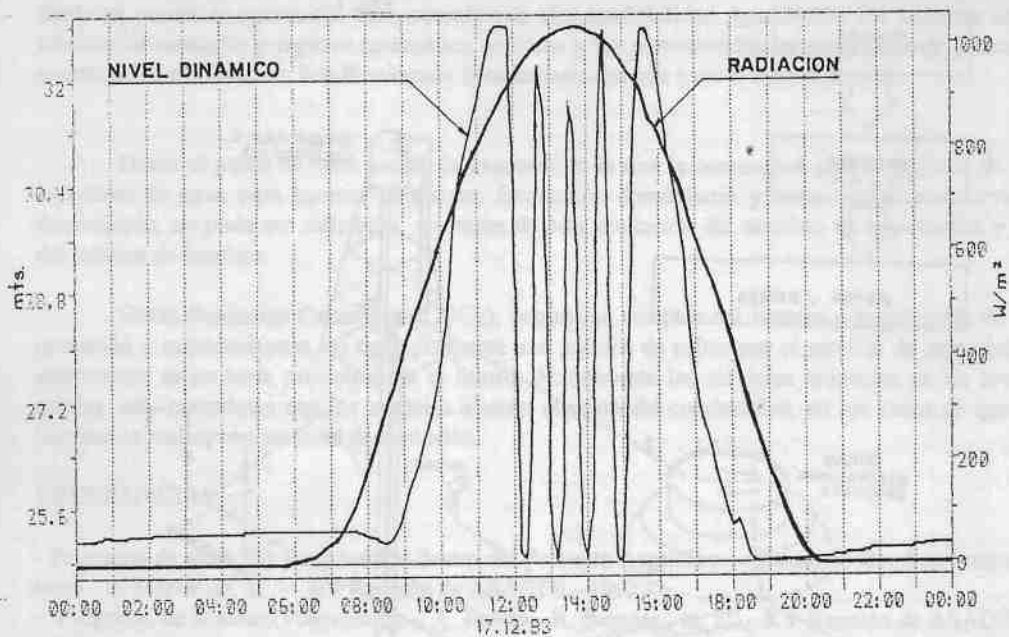
Valores de parámetros indicativos del funcionamiento del sistema :
Ocho primeros meses del año 1994.

PARAMETRO / MESES	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.
Radiación promedio en plano de paneles [$w/m^2 d$]	6662	5617	6285	4417	3539	3855	3965	4566
Nivel dinámico máx. [m]	32,81	32,81	32,81	32,81	32,64	31,59	32,22	32,19
Nivel dinámico mín. [m]	24,67	24,71	24,68	24,67	24,64	24,69	24,63	24,65
Agua bombeada máx. [m^3/d]	9,82	8,04	9,27	6,91	5,22	5,61	5,72	7,03
Agua bombeada prom. [m^3/d]	12,93	13,09	12,46	11,93	10,52	8,86	8,80	10,09
Agua bombeada mín. [m^3/d]	0,59	0,02	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua bombeada mensual [m^3]	304,4	225,2	287,3	207,4	161,7	168,2	177,3	217,9
Pot. hidráulica prom. [Wh/d]	1020	828	961	722	527	561	582	573
Rendimiento del sistema	2,73	2,63	2,73	2,92	2,66	2,60	2,62	2,83

Valores de diseño :

Radiación en plano inclinado 30°	: 5,5 KWh/ $m^2 d$
Potencia pico instalada	: 800 Wp - 700 Wp (29/12/93)
Superficie de celdas fotovoltaicas	: 6,4 m^2 - 5,6 m^2 (29/12/93)
Altura manométrica total	: 44,15 m - 41,25 m (29/12/93)
Volumen máximo de agua bombeada	: 12 m^3/d

GRAFICO 1 : RADIACION (w/m^2) Y NIVEL DINAMICO (m) 17/12/93

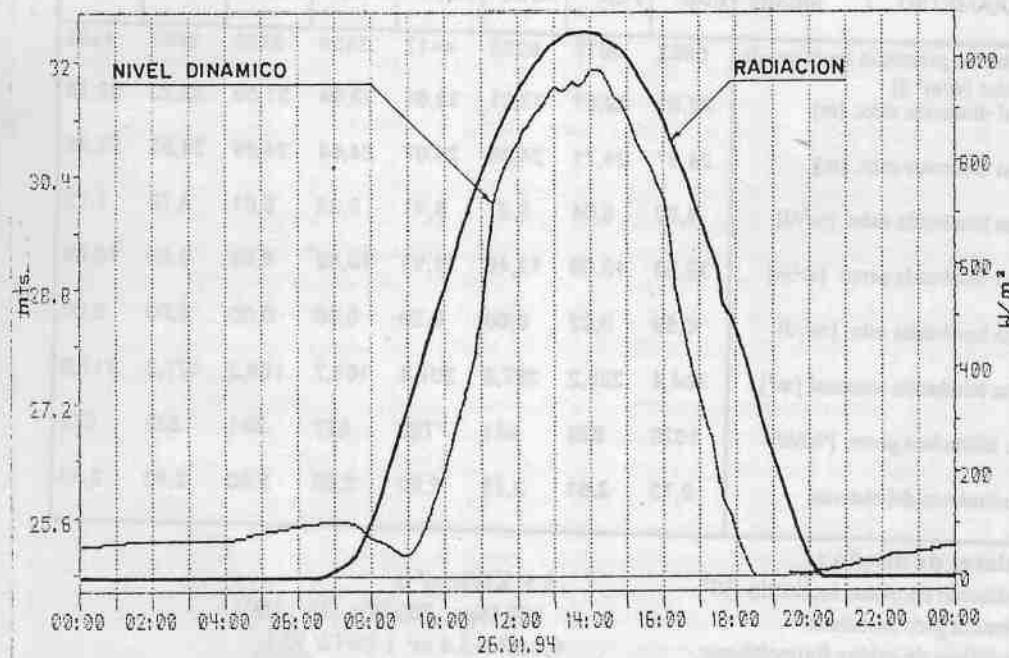


NIVEL DINAMICO (MAXIMO) = 32,81m.

RADIACION SOBRE EL PLANO DE PANELES (INTEGRAL) = 8027,33 w/m^2

AGUA BOMBEADA (INTEGRAL) = 11,88 m^3

GRAFICO 2 : RADIACION (w/m^2) Y NIVEL DINAMICO (m) 26/01/94



NIVEL DINAMICO (MAXIMO) = 31,89m.

RADIACION SOBRE EL PLANO DE LOS PANELES (INTEGRAL) = 8064,00 w/m^2

AGUA BOMBEADA (INTEGRAL) = 12,54 m^3