

EL POTENCIAL EÓLICO DE LAS JUNTAS THE WIND POTENTIAL OF LAS JUNTAS

R. TORREZ S.[†], F. GHEZZI, E. PALENQUE
Laboratorio de Física de la Atmósfera
Instituto de Investigaciones Físicas
Universidad Mayor de San Andrés
La Paz–Bolivia

RESUMEN

El sitio denominado “Las Juntas” (16°.78 S, 67°.68 W) se encuentra hacia lo más profundo que se interna el río de La Paz por la región que se denomina Río Abajo, en el punto de confluencia con el río Caracato. En el cañadón a partir de este punto hasta lo profundo del valle hacia el río Beni, donde el lecho del río se encuentra a menos de 2000 msnm y los picos de los montes y la cordillera se encuentran alrededor de los 4000 msnm, se observan flujos intensos de viento que alcanzan en ráfagas, velocidades superiores a 25 m/s ó 90 km/h. Este flujo que básicamente se manifiesta sobre el lecho del río, tiene su origen en el calentamiento de las masas de aire confinados en el valle, que encuentran como salida en su expansión el curso de los ríos, principalmente hacia arriba de los valles de La Paz y Caracato.

Considerando que la energía que lleva una corriente de aire es proporcional al cubo de la velocidad, estos intensos vientos se constituyen en una fuente muy importante de energía. Por lo datos registrados hasta el momento la potencia máxima aprovechable es superior a los 100 W/m², de modo que con un aerogenerador de palas de dos metros de radio se puede obtener hasta 1 KW de potencia para uso doméstico. Sin embargo, la aplicación más interesante radica en su aprovechamiento en gran escala. Este trabajo, a nivel introductorio, presenta estas consideraciones sobre la base de una descripción de las características del viento y otros parámetros meteorológicos relacionados, que se están monitoreando actualmente en la región.

Descriptores: física de la atmósfera — dinámica de fluidos — registro y procesamiento de datos

Código(s) PACS: 92.70.Cp, 47.85.Gj, 07.05.Hd

ABSTRACT

The “Las Juntas site” (16°.78 S, 67°.68 W) is found in the furthest reaches of area known as Rio Abajo and consists of a river delta within a wind swept canyon at the convergence point of the La Paz and Caracato Rivers. Las Juntas experiences intense wind flows and squalls reaching wind speeds above 25 m/s ó 90 km/h. The wind flow patterns observed at the riverbed originate from the warming of the air confined within the canyon (valley). The energy of an air current is proportional to *velocity*³. Measurements so far obtained at Las Juntas record a maximum wind energy value above 100 W/m², This means that a wind turbine with 2 meter radius propellers could produce up to 1 KW of energy suitable for domestic use. The intense winds found at Las Juntas if converted to energy at a large scale could provide an important source of renewable energy. This preliminary study using initial data obtained from fieldwork at Las Juntas describes the wind characteristics and other related meteorological parameters that are important to establish the site’s wind patterns and energy potential.

Subject headings: atmosphere physics — fluid dynamics — observation and data reduction techniques

1. INTRODUCCIÓN

El año 2003 se dio inicio a un proyecto de cooperación entre la Universidad Mayor de San Andrés de La Paz-Bolivia, con la Universidad de Munich de Alemania, para el estudio de la influencia de los vientos que se originan en los valles y cruzan la cordillera hacia el Altiplano, así como la naturaleza de los vientos que se manifiestan en sentido contrario. En el desarrollo de este proyecto, denominado Jupit’aya, se han realizado varias experiencias en los principales pasos de montaña, tales como en: Tres Ríos, Huayna Potosí, Silole, Chume y los que hasta el momento continúan en evaluación por sus resultados favorables como son Tambo Quemado y “Las Juntas”.

Es particularmente interesante el flujo de viento ascendente por el río “La Paz” desde lo profundo del valle, más abajo de la localidad de “Lurata”, en el punto de confluencia con el río Caracato. Este punto denominado “Las Juntas” es un punto de

bifurcación de la corriente principal que asciende por el interior del valle con intensidades excepcionales. El presente trabajo es una evaluación preliminar de las características del viento en este punto, luego que desde hace sólo cuatro meses hemos realizado la instalación de una estación meteorológica en dicho punto.

2. EL SITIO “LAS JUNTAS”

“Las Juntas” está situado a 16°.78 de latitud sur, 67°.68 de longitud oeste, y a 1720 m sobre el nivel del mar. El lugar está casi sobre el lecho del río “La Paz”, continuación del río Choqueyapu, que a poco de unirse con el río Caracato, duplica su caudal y penetra por entre los cerros hasta transformarse en el río Beni. Los cerros que sirven como guía de su curso se manifiestan con pendientes de más de 70° y lucen completamente desnudos. En los días de invierno la radiación solar incide de pleno en el cañadón en gran parte del día, “encerrándose entre los cerros” (la radiación incidente y sus reflexiones) determinando el calentamiento de sus paredes de manera excepcional por su alta composición en reflexiones múltiples de tipo infrarrojo.

[†]Email: reneto_lp@yahoo.com.



FIG. 1.— El sitio “Las Juntas”. Al fondo el cerro que divide los flujos de viento por las regiones de Río Abajo y Caracato.

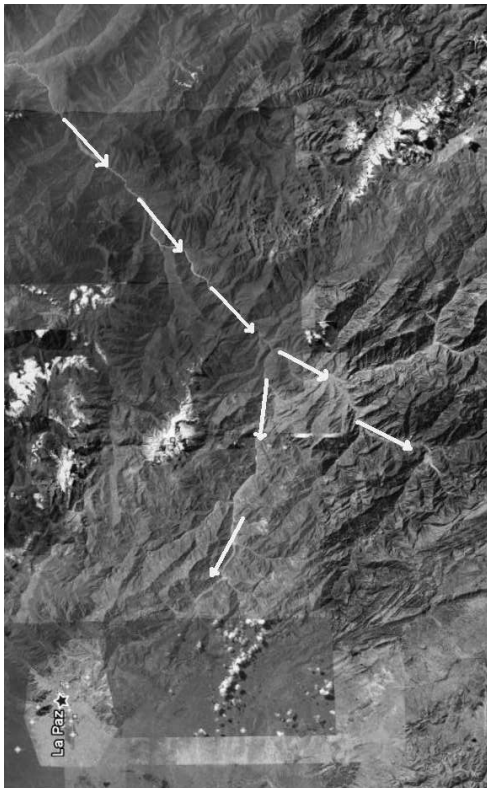


FIG. 2.— El curso de los ríos “La Paz” y “Caracato” que confluyen en el sitio “Las Juntas” y se internan a los llanos del Beni.

Simultáneamente, el aire confinado entre los cerros se calienta de manera excepcional, por la intrínseca relación establecida entre la radiación solar y la temperatura del aire superficial, según un trabajo realizado con anterioridad por el autor (Torrez 2008). Este calentamiento del aire da como consecuencia un gran movimiento de las masas de aire aguas arriba y sobre el lecho del río. No se conoce exactamente el perfil de las velocidades del viento en altitud, aunque se ha observado que éstas fluyen prácticamente paralelas al lecho del río, a pocos metros sobre su superficie.

Las Fig. 1 muestra el cerro que divide los vientos en el sitio “Las Juntas”. Se puede observar también la profundidad de los valles, así como la escasa cobertura vegetal de sus cerros. Los ríos “La Paz” y “Caracato” en esta época del año llevan una muy reducida corriente, siguen trayectorias sinuosas, aunque van disminuyendo suavemente en altitud cambian de curso repentinamente por la presencia de muros de roca que varias veces obligan al cambio de su curso, se presentan a lo largo de su curso



FIG. 3.— Crecimiento de las plantas y arbustos orientado en la dirección de los vientos. La inclinación permite apreciar la intensidad de los mismos.



FIG. 4.— Nuestra estación meteorológica en el cañadón de “Las Juntas”. Al fondo se puede apreciar el interior del valle.

numerosos pequeños afluentes que provienen de valles con similares características. Las fotografías satelitales de la Fig. 2 permite apreciar la trayectoria de estos ríos por entre los cerros.

El aire caliente que se desestabilice en cualquier parte de la región da lugar a la formación de intensas corrientes de aire a lo largo de los valles, resultando las de máxima velocidad y fuerza las que precisamente emergen desde lo profundo del valle de “Las Juntas” hasta el punto de bifurcación en la confluencia de ambos ríos. En la primera expedición realizada por el río “Caracato” hasta este punto se ha podido registrar intensidades de viento superiores a los 80 km/h . Las fotografías obtenidas de los arbustos que crecen sobre las orillas del río muestran este efecto, que debido a su persistencia durante todo el año orientan su crecimiento en dirección de estos vientos. Efectos similares en árboles y otra vegetación se pueden observar río arriba en los valles que forman los ríos La Paz y Caracato (Fig. 3).

3. METEOROLOGÍA EN LAS JUNTAS

La intensidad y persistencia de los vientos descubiertos, ha dado lugar a la presentación de un proyecto de investigación para el monitoreo y caracterización de este fenómeno en el Instituto de investigaciones Físicas de la UMSA, aprovechando el interés y los objetivos del proyecto Juipit'aya. De ese modo, en el mes de octubre del año anterior el grupo de meteorología del Laboratorio de Física de la Atmósfera ha procedido a la instalación de una estación meteorológica en las proximidades del punto denominado “Las Juntas”. Este sitio que se encuentra aproximadamente a un kilómetro más abajo y sobre el puente que permite la conexión con la localidad de Araca, es una pequeña planicie dotada artificialmente de agua que deriva de la cordillera del Illimani. Está habitada por un comunario dedicado a labores agrícolas, el mismo que ahora funge como vigilante de nuestra estación. La Fig. 4 muestra la instalación de esta estación y permite apreciar sus características.

La estación meteorológica, de procedencia alemana, está cons-

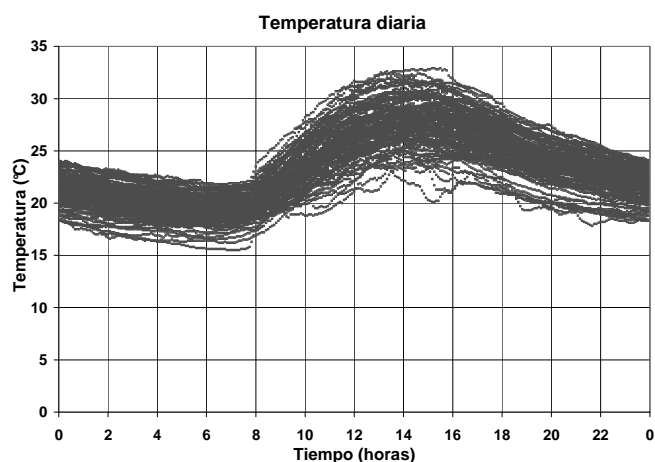
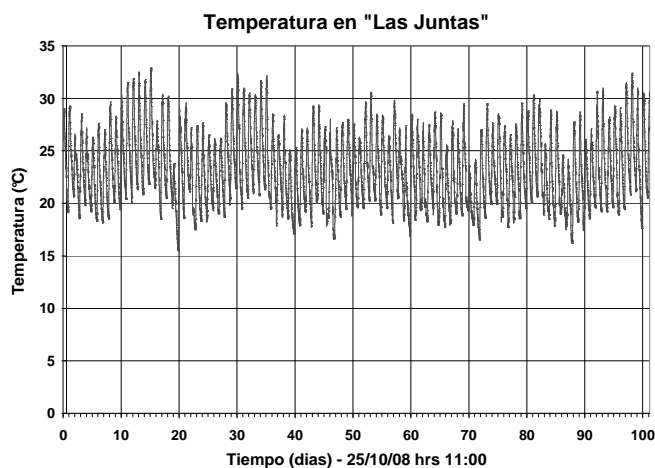


FIG. 5.— Las variaciones de la temperatura en el periodo y las características diarias en el sitio "Las Juntas".

tituida por un panel de control con un sistema de alimentación energizado por un panel solar, regulado y sostenido por una batería. Alberga un sistema de adquisición de datos y dos sensores de precisión atmosférica, todo dispuesto en una caja de acero herméticamente cerrada. En el exterior consta de una torre soporte para los sensores de radiación solar, temperatura y humedad, velocidad y dirección de viento. Su sólida estructura está reforzada adicionalmente con cuatro cables de acero, y toda la estación está protegida por una cerca.

Los primeros datos obtenidos con una frecuencia de cinco minutos durante aproximadamente cien días nos permiten confirmar la fuerza de los vientos, así como su persistencia, con excepción de un intervalo de aproximadamente dos semanas, a poco de instalarse la estación, que muestra extrañamente muy poco o casi ningún flujo de viento. Este intervalo de tiempo, así como los parámetros meteorológicos registrados están siendo estudiados con particular interés.

A modo de primera evaluación de las características meteorológicas de esta región en estos primeros cien días se tiene lo siguiente: La temperatura media del periodo se sitúa alrededor de 23 °C, alcanzando máximos de 32 °C sobre las 16 horas, y mínimos de 17 °C hacia las 6 de la mañana, que se corresponden con la hora de entrada y salida del sol por los cerros.

En cuanto a la humedad relativa, aunque la región es muy árida presenta un promedio diario de aproximadamente 52 %, con valores máximos del 80 % alrededor de las 7 de la mañana y mínimos del 20 % sobre las 14 horas. Las Figs. 5 y 6 muestran todos los registros del periodo en lo que corresponde a la temperatura y la humedad, respectivamente, pudiendo observarse

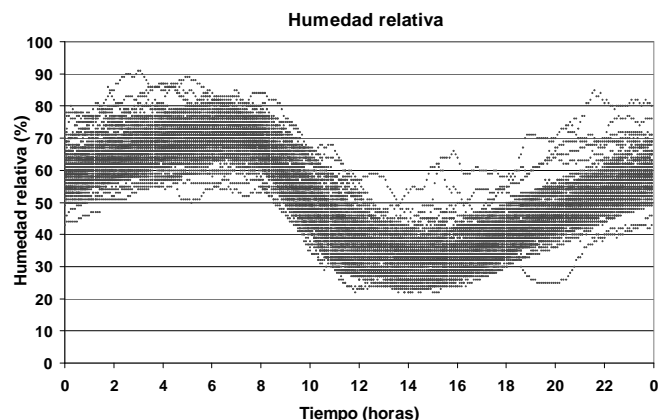
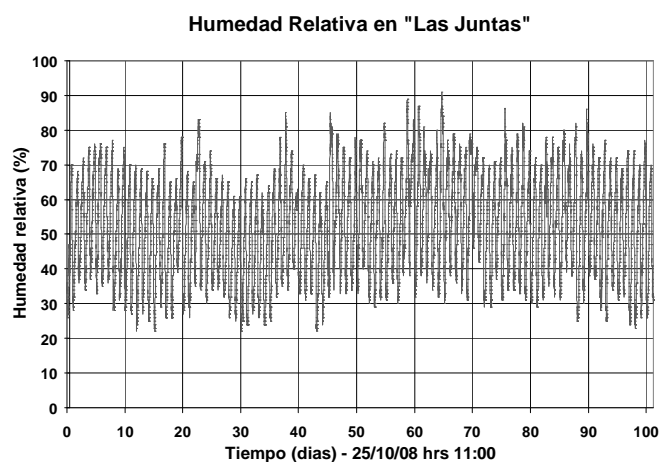


FIG. 6.— Las variaciones de la humedad relativa en el periodo y las características diarias en el sitio "Las Juntas".

gráficamente los valores máximos y mínimos a lo largo de los días.

En cuanto a la radiación solar, Fig. 7, el promedio diario que corresponde sólo a las horas de sol se sitúa alrededor de los 550 W/m^2 , con máximos que superan los 1100 W/m^2 , y como se puede observar en esta gráfica superpuesta de todo el periodo, el número de días con alta nubosidad es bastante numeroso, típicos de este periodo del año. Por otra parte, la gráfica permite apreciar que los cerros acortan y distorsionan apreciablemente las horas de sol directa, y se puede apreciar también la gran participación de la radiación difusa, como efecto de la reflexión sobre los cerros.

La velocidad del viento, que en el presente trabajo es de nuestro máximo interés, presenta en general grandes intensidades alrededor de las 16 horas con valores que superan los 22 m/s , o sea alrededor de los 80 km/h , y obviamente, valores de calma localizados mayormente al inicio del día. El promedio diario de la velocidad del viento en este periodo se sitúa alrededor de los 5 m/s (Fig. 8).

A pesar de lo regular que aparenta ser el comportamiento del viento, la gráfica del registro histórico del periodo (Fig. 8) muestra el intervalo de tiempo entre el 4 y 18 de noviembre con un comportamiento completamente extraño: la velocidad del viento se presenta completamente disminuida, mientras que los demás parámetros meteorológicos permanecen en el límite de sus valores habituales. Este aspecto se encuentra al momento en etapa especial de investigación.

4. EL POTENCIAL ENERGÉTICO

Es bien sabido que la potencia contenida en el flujo de viento es proporcional al cubo de la velocidad instantánea que lleva, así

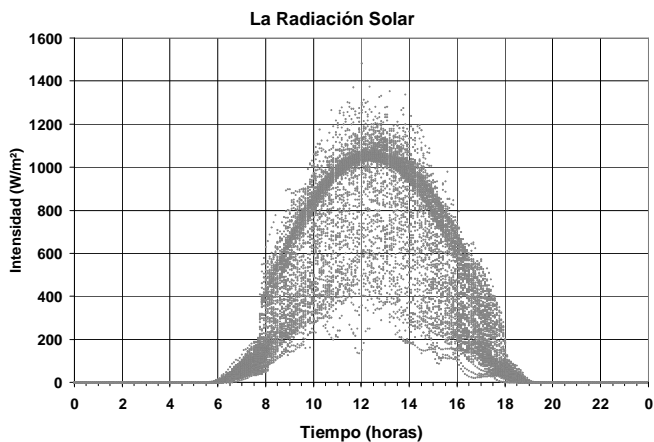
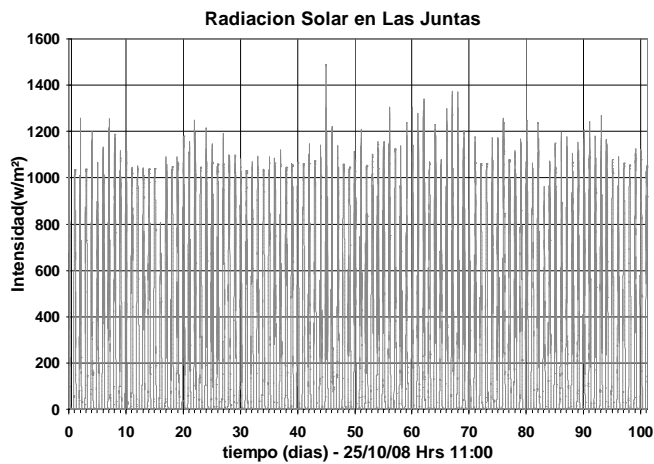


FIG. 7.— Las variaciones de la radiación solar en el periodo y las características diarias en el sitio “Las Juntas”.

como a la densidad del aire que lo compone y a la sección transversal que atraviesa; ésto define la potencia eólica instantánea disponible:

$$P_d = \frac{1}{2} A \rho V^3. \quad (1)$$

Luego, el potencial eólico disponible del lugar vendrá dado como la potencia media eólica por unidad de superficie evaluada sobre un tiempo suficientemente largo (mínimo un año). Para nuestro caso, con sólo tres meses de datos, sólo podremos obtener una tendencia de este potencial, ésto es:

$$\langle P_d \rangle = \frac{1}{N} \sum_i \frac{1}{2} A \rho V_i^3. \quad (2)$$

Este valor para el sitio “Las Juntas” es de aproximadamente $200 \text{ W}/\text{m}^2$. Luego, la potencia máxima aprovechable por unidad de área, debida a limitaciones físicas que hacen imposible convertir todo la energía cinética en energía útil, será:

$$P_{\max} = \frac{16}{27} P_d \approx 120 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}. \quad (3)$$

Otro factor muy importante para el aprovechamiento energético del viento es el denominado factor de potencia eólico o factor de irregularidad que se define como:

$$F_e = \frac{\langle V^3 \rangle}{\langle V \rangle^3} \approx 2.98. \quad (4)$$

Que se interpreta como vientos de moderada a alta variabilidad. Finalmente, el índice de turbulencia para el periodo analizado

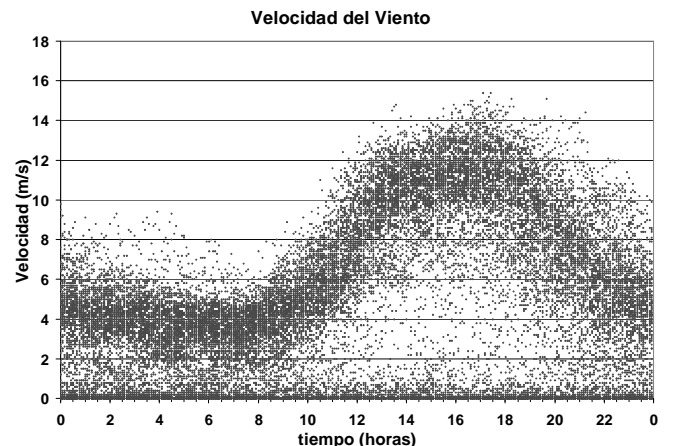
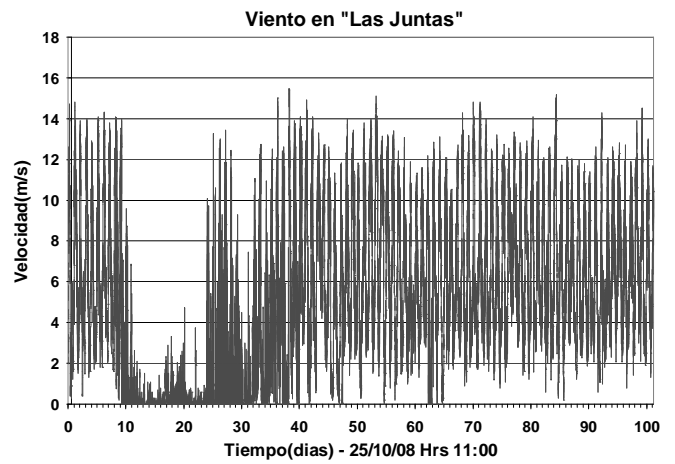


FIG. 8.— Las variaciones de la velocidad del viento en el periodo y sus características diarias en el sitio “Las Juntas”.

resulta en:

$$I_t = \frac{\sigma}{\langle V \rangle} \approx 0.77. \quad (5)$$

Que significa presencia de alta turbulencia.

No obstante los anteriores índices, el flujo de viento por estos valles tiene una particularidad muy importante, es casi unidireccional, es decir tiene una dirección constante (Fig. 10) que en casi todos los casos coincide con la dirección del curso del río y hacia arriba del mismo, y por los experimentos realizados fluye casi de manera horizontal, por lo que, como fuente de energía, es muy conveniente.

Los valores calculados para la potencia media diaria y para la potencia máxima disponible están basados en los datos promediados en el intervalo de medición, es decir cada cinco minutos. Sin embargo, aprovechando la capacidad de registro de valores máximos y mínimos que tiene el sistema de adquisición de datos, también se han registrado las velocidades máximas por intervalo de medición (Fig. 9). En estos registros se pueden observar ráfagas fuertes y muy fuertes que tienen mucha importancia al momento de diseñar un sistema de aprovechamiento.

En la misma forma, el registro de direcciones del viento confirma que siguen una orientación casi permanente. Esta constancia, al igual que las ráfagas, deben tomarse muy en cuenta en los sistemas de conversión, que afortunadamente en este caso pueden resultar en una gran ventaja económica y técnica.

5. CONCLUSIONES

Por los resultados parciales obtenidos hasta la fecha, es posible concluir que el sitio denominado “Las Juntas” presenta condiciones muy favorables al objetivo de aprovechamiento energético

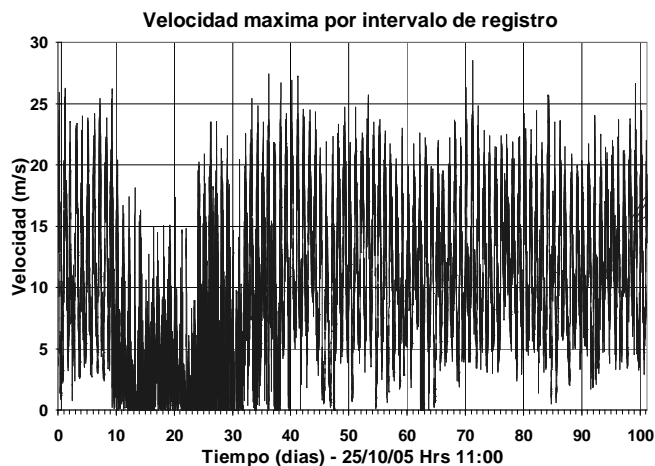


FIG. 9.— Registro de las ráfagas de viento por intervalo de medición. Se puede observar que algunos registros superan los 100 km/h.

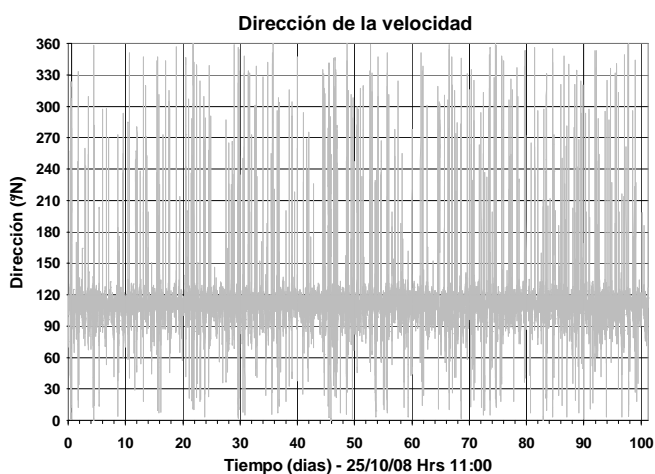


FIG. 10.— Registro de direcciones del viento en el “cañadón de Las Juntas”. Se puede observar que la dirección predominante se sitúa aproximadamente a los 115°, que coincide con la dirección del cañadón con respecto al Norte.

en forma de energía eléctrica. Algunas de éstas son: Se encuentra relativamente próximo a los principales centros poblados del país como las ciudades de La Paz y Cochabamba y algunas poblaciones intermedias en el altiplano. Que en caso de aprovechamiento a gran escala podría también beneficiar a numerosas comunidades asentadas sobre sus valles permitiendo la industrialización de su producción agrícola. Excedentes de esta energía podrían descargarse en el sistema interconectado, principalmente en las horas de mayor demanda, donde coincidentemente se presentan los máximos de la energía del viento. Finalmente podría constituirse en un atractivo turístico dadas las diversas prácticas deportivas, de entretenimiento y recreación que se desarrollan con el viento.

Sin embargo, para transformar estas expectativas en una realidad será necesario ampliar y profundizar el monitoreo del recurso, disponiendo de más estaciones meteorológicas en más sitios, así como incorporar otros equipos para ampliar el estudio a la dimensión vertical, por ejemplo a través de aviones de aeromodelismo, globos sonda, globos anclados, etc., para así establecer también el perfil vertical del flujo de viento y los demás parámetros meteorológicos.

AGRADECIMIENTOS

El descubrimiento técnico del valle de “Las Juntas” y la instalación de nuestra estación meteorológica en este sitio, no hubieran sido posibles sin la ejecución del proyecto “Juipit’aya”, por ello merecen reconocimiento los participantes del Instituto de Meteorología de la Universidad de Munich, quienes nos han orientado sobre la existencia de vientos de valle muy importantes, además de habernos permitido contar con estaciones meteorológicas automáticas que son por ahora nuestro principal instrumento de investigación.

Agradecimiento especial al Sr. Marcelo Trujillo que se desempeña por ahora como vigilante de nuestra estación en este sitio, y del mismo modo a todo el personal del Instituto de Investigaciones Físicas de la UMSA.

REFERENCIAS

- Torrez, R. 2008, Revista Boliviana de Física, 14, 116
 Torrez, R., Ghezzi, F., & Palenque, E. 2006, Las Características del Viento en el Valle del Río de La Paz, Tech. rep., IIF-UMSA

- Villarubia, M. 2004, La Energía Eólica (CEAC)