No. 2

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON
VICE MINISTERIO DE ENERGIA E HIDROCARBUROS
REPUBLICA DE BOLIVIA

ESTUDIO SOBRE EL PLAN DE IMPLEMENTACION DE LA ELECTRIFICACION RURAL CON ENERGIA RENOVABLE EN LA REPUBLICA DE BOLIVIA

APÉNDICE III Y IV

JICA LIBRARY
J1167778[8]

SEPTIEMBRE 2001

KRI INTERNATIONAL CORP.
NIPPON KOEI CO., LTD.

MPN
JR
01-106

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON
VICE MINISTERIO DE ENERGIA E HIDROCARBUROS
REPUBLICA DE BOLIVIA

ESTUDIO SOBRE EL PLAN DE IMPLEMENTACION DE LA ELECTRIFICACION RURAL CON ENERGIA RENOVABLE EN LA REPUBLICA DE BOLIVIA

INFORME FINAL
APENDICE III Y IV

Septiembre 2001

KRI INTERNATIONAL CORP.
NIPPON KOEI CO., LTD

Tasa de Cambo

(mayo de 2001)

US$1 = ¥120.5

US$1 = Bs 6.53

Bs 1 = ¥18.5

1167778[8]

ESTUDIO
SOBRE
EL PLAN DE IMPLEMENTACION DE LA ELECTRIFICACION RURAL
CON
ENERGIA RENOVABLE
EN
LA REPUBLICA DE BOLIVIA

INFORME FINAL
APÉNDICE III Y IV

CONTENIDO

Apéndice III

Estudio de Pre Factibilidad Para Proyectos de Energía Eólica

Página

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN **III-1**
1.1 Objetivos del Estudio III-1
1.2 Investigaciones y Estudios conducidos III-1

CAPÍTULO 2 RECOLECCIÓN DEL DATOS **III-3**

CAPÍTULO 3 SELECCIÓN DEL SITIO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE VIENTO **III-5**
3.1 Selección del Sitio para el Sistema Monitoreo de Viento III-5
3.1.1 Criterio de la Selección III-5
3.1.2 Selección de Sitios III-6
3.2 Instalación y Monitoreo III-8
3.2.1 Trabajos de Instalación III-8
3.2.2 Monitoreo III-13
3.3 Análisis de la Información Recolectada III-16
3.3.1 Promedio mensual de Velocidad de Viento III-16
3.3.2 Velocidad Máxima de Viento III-17
3.3.3 Velocidad Diurna del Viento III-19
3.3.4 Dirección del Viento III-20
3.3.5 Frecuencia de la Velocidad del Viento III-21

3.3.6 Radiación Solar, Temperatura, Humedad y Presión Barométrica III-21

CAPÍTULO 4 POTENCIAL DE ENERGÍA EÓLICA Y SELECCIÓN DE LOCALIDADES PARA ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD..... III-22

4.1 Potencial de Energía Eólica en La Paz y Oruro..... III-22
4.2 Selección de las localidades con Alto Potencial de Desarrollo III-22

CAPÍTULO 5 ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL PROYECTO DE ENERGÍA EÓLICA EN CHARAÑA – LA PAZ..... III-25

5.1 Ubicación y Topografía III-25
5.2 Condiciones Socioeconómicas y Demanda de Electricidad..... III-26
5.2.1 Condiciones Socioeconómicas III-26
5.2.2 Demanda de Electricidad III-26
5.3 Análisis de la Información Eólica..... III-31
5.3.1 Análisis de Información de Vientos..... III-31
5.3.2 Relación Complementaria entre Viento y Energía Solar .. III-34
5.4 Desarrollo de un Esquema Optimo III-35
5.5 Diseño Preliminar y Estimación de Costo..... III-36
5.5.1 Diseño Preliminar para una Turbina de Viento III-36
5.5.2 Sistema Eólico Propuesto III-39
5.5.3 Estimación de Costo III-40
5.5.4 Calendario de Construcción III-40
5.6 Implementación y OM..... III-41

CAPÍTULO 6 ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA EL PROYECTO DE ENERGÍA EÓLICA EN CARIPE – ORURO..... III-45

6.1 Ubicación y Topografía III-45
6.2 Condiciones Socioeconómicas y Demanda de Electricidad..... III-46
6.2.1 Condiciones Socioeconómicas III-46
6.2.2 Demanda de Electricidad III-46
6.3 Análisis de Información Eólica..... III-50
6.3.1 Análisis de Información de Vientos..... III-50
6.3.2 Relación Complementaria entre Viento y Energía Solar . III-53
6.4 Formulación de un Esquema Optimo..... III-54
6.5 Diseño Preliminar y Estimación de Costo..... III-55
6.5.1 Diseño Preliminar para una Turbina de Viento III-55
6.5.2 Sistema Eólico Propuesto III-58

6.5.3 Costo Estimado III-58
6.5.4 Calendario de Construcción III-59
6.6 Implementación y OM III-60

CAPÍTULO 7 ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA EL PROYECTO DE ENERGÍA EÓLICA EN CHACHACOMANI – ORURO III-64

7.1 Ubicación y Topografía III-64
7. 2 Condiciones Socioeconómicas y Demanda de Electricidad III-64
7.2.1 Condiciones Socioeconómicas III-64
7.2.2 Demanda de Electricidad III-65
7.3 Análisis de Información Eólica III-69
7.3.1 Análisis de Información de Vientos III-69
7.3.2 Relación Complementaria entre Viento y Energía Solar III-72
7.4 Formulación de un Esquema Optimo III-74
7.5 Diseño Preliminar y Estimación de Costo III-75
7.5.1 Diseño Preliminar para una Turbina de Viento III-75
7.5.2 Sistema Eólico Propuesto III-77
7.5.3 Costo Estimado III-78
7.5.4 Calendario de Construcción III-79
7.6 Implementación y OM III-79

CAPÍTULO 8 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO III-83

8.1 Evaluación Económica y Financiera III-83
8.1.1 Evaluación Económica III-83
8.1.2 Evaluación Financiera III-87
8.2 Evaluación Inicial de Medio Ambiente III-90
8.2.1 Evaluación Inicial del Medio Ambiente para el Proyecto Eólico de Charaña III-90
8.2.2 EIMA para el Proyecto de energía eólica de Caripe III-91
8.2.3 EIMA para el proyecto de energía eólica de Chachacomani III-92

Lista de Tabla

Tabla 1.1 Promedio Mensual de la Velocidad del Viento en La Paz III-94
Tabla 1.2 Promedio Mensual de la Velocidad del Viento en Oruro III-97

Tabla 3.1 Datos Colleccionados del Monitoreo de Viento III-99

Tabla 5.1 Condición Socio-economica de Charaña III-109
Tabla 5.2 Demanda Mensual de Energía en Charaña III-110
Tabla 5.3 Distribución/Frecuencia Mensual de la Velocidad de Viento, Charaña III-111
Tabla 5.4 Energía de la Densidad Mensual III-112
Tabla 5.5 Intensidad de la Turbulencia III-112
Tabla 5.6 Costo de Construcción para Proyecto de Energía Eólica en Charaña III-113

Tabla 6.1 Condición Socio-economica de Caripe III-114
Tabla 6.2 Demanda Mensual de Energía en Caripe III-115
Tabla 6.3 Distribución/Frecuencia Mensual de la Velocidad de Viento, Caripe III-116
Tabla 6.4 Energía de la Densidad Mensual III-117
Tabla 6.5 Intensidad de la Turbulencia III-117
Tabla 6.6 Costo de Construcción para Proyecto de Energía Eólica en Caripe III-118

Tabla 7.1 Condición Socio-economica de Chachacomani III-119
Tabla 7.2 Demanda Mensual de Energía en Chachacomani III-120
Tabla 7.3 Distribución/Frecuencia Mensual de la Velocidad de Viento, Chachacomani III-121
Tabla 7.4 Energía de la Densidad Mensual III-122
Tabla 7.5 Intensidad de la Turbulencia III-122
Tabla 7.6 Costo de Construcción para Proyecto de Energía Eólica en Chachacomani III-123

Tabla 8.1 Tasa Economica Interna de Retorno para Proyecto de Energiía Eólica en Charana, La Paz III-124
Tabla 8.2 Tasa Economica Interna de Retorno para Proyecto de Energiía Eólica en Caripe, Oruro III-125
Tabla 8.3 Tasa Economica Interna de Retorno para Proyecto de Energiía Eólica en Chachacomani, Oruro III-126

Lista de Figura

Figura 3.1 Sitio para el Sistema Monitoreo de Viento en La Paz III-127
Figura 3.2 Sitio para el Sistema Monitoreo de Viento en Oruro III-127
Figura 3.3 Dirección del Viento (20m), La Paz
feburero 2000 a enero 2001 ..... III-128
Figura 3.4 Dirección del Viento (20m), Oruro
feburero 2000 a enero 2001 ..... III-129
Figura 3.5 Frequencia de la Velocidad del Viento (20m), La Paz
feburero 2000 a enero 2001 ..... III-130
Figura 3.6 Frequencia de la Velocidad del Viento (20m), Oruro
feburero 2000 a enero 2001 ..... III-131

Figura 4.1 Mapa de Energia Eolica Potencial, La Paz III-132
Figura 4.2 Mapa de Energia Eolica Potencial,Oruro III-133

Figura 5.1 Velocidad de Viento Direccional (m/s) en Charaña, La Paz... III-134
Figura 5.2 Distribución Direccional y Frecuencia Mensual de la
Velocidad de Viento en Charaña, La Paz..... III-136
Figura 5.3 Distribución de Weibull en Charaña, La Paz III-138
Figura 5.4 Wind – PV Hybrid System in Charana, La Paz Department .. III-140
Figura 5.5 Installation Map of Wind-PV Hybrid Generation System
in Charana, La Paz Department III-141
Figura 5.6 Calendario de Construcción para Proyecto de
Energía Eólica en Charaña..... III-142
Figura 5.7 Implementación del Proyecto para Proyecto de Energía
Eólica en Charaña..... III-143

Figura 6.1 Velocidad de Viento Direccional)m/s) en Caripe, Oruro..... III-144
Figura 6.2 Distribución Direccional y Frecuencia Mensual de la
Velocidad de Viento en Caripe, Oruro..... III-146
Figura 6.3 Distribución de Weibull en Caripe Oruro III-148
Figura 6.4 Wind – PV Hybrid System in Caripe, Oruro Department..... III-150
Figura 6.5 Installation Map of Wind-PV Hybrid Generation System
in Caripe, Oruro Department III-151
Figura 6.6 Calendario de Construcción para Proyecto de Energía
Eólica en Caripe III-152
Figura 6.7 Implementación del Proyecto para Proyecto de Energía
Eólica en Caripe III-153

Figura 7.1 Velocidad de Viento Direccional (m/s) en Chachacomani, Oruro III-154
Figura 7.2 Distribución Direccional y Frecuencia Mensual de la Velocidad de Viento en Chachacomani, Oruro III-156
Figura 7.3 Distribución de Weibull en Chachacomani, Oruro III-158
Figura 7.4 Wind-Micro Hydro Hybrid System in Chachacomani, Oruro Department III-160
Figura 7.5 Installation Map of Wind/Micro-Hydro Hybrid Generation System in Chachacomani, Oruro Department III-161
Figura 7.6 Calendario de Construcción para Proyecto de Energía Eólica en Chachacomani III-162
Figura 7.7 Implementación del Proyecto para Proyecto de Energía Eólica en Chachacomani III-163

ESTUDIO
DEL
PLAN DE IMPLEMENTACION DE ELECTRIFICACION RURAL
CON
ENERGIA RENOVABLE
EN
LA REPUBLICA DE BOLIVIA

INFORME FINAL
APÉNDICE III Y IV

CONTENIDO

Apéndice IV

Informe de Transferencia Technológica

Página

1. Sistema Fotovoltaico IV-1
2. Micro-hydro Energía IV-2
3. Energía Eólica IV-4
4. Estudio Social IV-5

I. Primer Seminario IV-6
   1.1 Programa del Primer Seminario IV-7
   1.2 Lista de Participantes al Primer Seminario IV-8
   1.3 Contentos de Primer Seminario IV-9

II. Segundo Seminario IV-10
   2.1 Programa del Segundo Seminario IV-11
   2.2 Lista de Participantes al Segundo Seminario IV-12
   2.3 Contentos del Segundo Seminario IV-13

III. Tercero Seminario IV-14
   3.1 Programa del Tercero Seminario IV-15
   3.2 Lista de Participantes al Tercero Seminario IV-18
   3.3 Contentos del Tercero Seminario IV-20

Anexo IV-1 ..... IV-21
Anexo IV-2 ..... IV-45
Anexo IV-3 ..... IV-67

Abbreviations and Acronyms

(1) Domestic Organization

CINER	Centro de Información en Energías Renovables
CNDC	National Committee of Electricity Supply
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
CRE	Cooperativa Rural de Electrificación, Santa Cruz
DUF	Directorio Unico de Fondos
ECOTEC	Ecotecnologías Energéticas y Productivas
EDU	Energy Development Unit, VMEH
EDESER	Empresa de Servicios
EFP	Facilitator Team of PRONER Program
ELECTROPAZ	Electricidad de La Paz S.A.
ELFA	Empresa de Luz y Fuerza Aroma
ELFEC	Empresa de Luz y Fuerza de Cochabamba
ELFEO	Empresa de Luz y Fuerza Electrica de Oruro, S.A.
ENDE	National Electric Company
ENERGÉTICA	Energía para el Desarrollo
ESAND	Energía Solar Andina S.R.L.
FNDR	National Fund of Regional Development
FPS	National Fund of Productive and Social Investment
IGM	Instituto Geográfico Militar
IHH	Instituto de Hidaulica e Hidrologia, UMSA
INE	National Statistics Institute
MDE	Ministry of Economic Development
MDSP	Ministry of Sustainable Development and Planning
NOGUB	Programa de Apoyo a Organizaciones no gubernamentales
PRONER	National Program of Rural Electrification
SE	Superintendencia de Electricidad
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorologia e Hidrologia
SERGEOMIN	Servicio Nacional de Geologia y Mineria
SERNAP	Servicio Nacional de Areas Protegidas, MDSP
SIN	National Interconnected System
STI	Interconnected Trunk System
TDE	Transportadora de Electricidad
UMSA	Universidad Mayor de San Andres

VIPFE	Vice Ministry of Public Investment and External Financing
VMARNDF	Vice Ministry of Environmental Natural Resources and Forestry Development
VMEH	Vice Ministry of Energy and Hydrocarbons

(2) International or Foreign Organization

AECI	Spanish International Cooperation Agency
ESMAP	Energy Sector Management Program, World Bank
GEF	Global Environmental Facility, World Bank
GTZ	German Technical Cooperation
IDB	Inter-American Development Bank
JICA	Japan International Cooperation Agency
KfW	German Financial Cooperation
NRECA	National Rural Electric Cooperative Association
UNDP	United Nations Development Program
UNEP	United Nations Environmental Program
UNDCP	United Nations Drug Control Program
USAID	The US Agency for International Development, USA
WB	World Bank

(3) Others

GDP	Gross Domestic Product
NGO	Non Governmental Organization
O&M,O/M	Operation and Maintenance
VAT	Value Added Tax

(4) Technical Term

AC	Alternative Current
CO2	Carbon Dioxide
DC	Direct Current
FC	Fuel Cell
Grid	Transmission Line
H	Head (m)
Hyd	Hydraulic Generator
LDC	Load Dispatching Center
MHP	Micro Hydro Power

PV	Solar Photovoltaic Cell
Q	River Flow Discharge
WG	Wind Generator

(5) Unit

mm	millimeter
m	meter
km	kilometer
El.m	Elevation in meter
l/s	liter per second
m/s	meter per second
m3/s	cubic meter per second
mm^2	square millimeter
km^2	square kilometer
mg	milligram
ton, t	metric ton
V	Volt
W	Watt
kW	kilowatt
MW	Megawatt
Wp	Watt peak
kWp	kilowatt peak
GWh	Gigawatt hour
kWh	Kilowatt hour
MVA	Megavolt ampere
KVA	Kilovolt ampere
Ah	ampere hour
Hz	Herts
RPM	Revolution (revs) per minute
%	percentage

(6) Curency

Bs	Boliviano, Bolivian Currency
US$	US Dollar
M.US$	Million US Dollar
US ‘	US cent

APENDICE III

ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA PROYECTOS DE ENERGÍA EÓLICA

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos del Estudio

El objetivo de este estudio es el formular el diseño de un Plan de implementación de Electrificación Rural con Energía Renovable en La Paz y Oruro. El estudio de energía eólica se enfocó en los siguientes objetivos

1) Identificar sitios apropiados para el monitoreo del viento y la instalación de 10 sistemas de monitoreo 5 en La Paz y 5 en Oruro.
2) Identificar sitios prioritarios para el desarrollo de energía eólica y evaluar costo / competitividad.
3) Seleccionar proyectos de alta prioridad para el estudio de pre factibilidad uno en La Paz y dos en Oruro y conducir el estudio de pre factibilidad.

1.2 Investigaciones y Estudios conducidos

El estudio de campo comienza el 7 de agosto de 1999 y continua hasta el 7 de septiembre de 2001, intermitentemente y con las siguientes fases:

1) Primer estudio de campo: 7 de agosto de 1999 - septiembre 20, 1999
2) Segundo estudio de campo: 5 de enero de 2000 - febrero 12, 2000
3) Tercer estudio de campo: 15 de mayo de 2000 - julio 14, 2000
4) Cuarto estudio de campo: 5 de enero de 2001 - febrero 15, 2001
5) Quinto estudio de campo: 10 de mayo de 2001 - junio 8, 2001
6) Sexto estudio de campo: 27 de agosto de 2001 - septiembre 7, 2001

Las investigaciones y estudios llevados a cabo durante los periodos anteriormente señalados son :

- Recolección de datos existentes sobre vientos e información general
- Selección del sitio para un sistema de monitoreo de viento
- Búsqueda de equipo y contratista y supervisión de la construcción del equipo de monitoreo de viento.

- Supervisión del sistema de monitoreo de viento / análisis y recolección de datos sobre comportamiento de vientos.
- Formulación de un proyecto para el desarrollo de energía eólica
- Selección de los proyectos de alta prioridad y análisis económico/financiero de los mismos.

CAPÍTULO 2 RECOLECCIÓN DEL DATOS

Información y datos relacionados se recolectaron de las siguientes organizaciones:

(1) VMEH

"ELECTRIFICACION RURAL - Base de Datos"
Contenido: Población, fuentes de energía.

"Reporte de Mediciones Estación # 3 CRE"
Contenido: Información sobre vientos en Santa Cruz

(2) SENAMHI

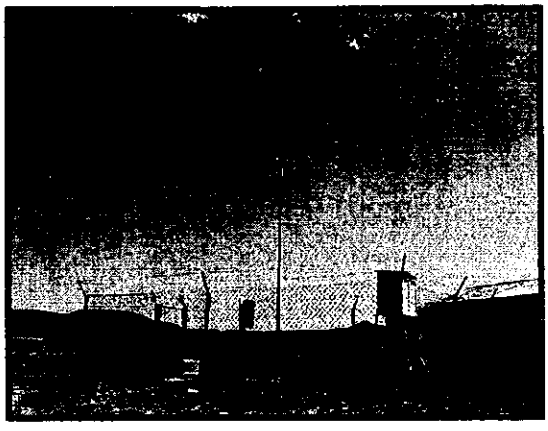
Velocidad y dirección de viento 1 a 10 años

Los siguientes datos fueron recopilados y se presentan en las Tablas 1.1 y 1.2

La Paz:	· EL ALTO	· CHARAÑA	· AYO AYO
	· PATACAMAYA	· PUERTO ACOSTA	
	· TIWANACU	· COLLANA	
	· HICHUCOTA	· HUARINA	· ACHIRI
Oruro:	· ORURO	· CARACOLLO	· CORQUE
	· HUACHACALLA		· COIPASA
	· SALINAS DE GARCI MENDOZA		

Mapa de Vientos: Mapa de Vientos de Bolivia

La disponibilidad de información y datos sobre vientos son muy limitados y no existe información confiable en La Paz ni Oruro. Como muestra la foto, unidad de observación del SENAMHI, la altura de monitoreo es baja y la velocidad del viento es registrada manualmente.



Unidad de Observación de Clima del SENAMHI

CAPÍTULO 3 SELECCIÓN DEL SITIO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE VIENTO

3.1 Selección del Sitio para el Sistema Monitoreo de Viento

Para la instalación de los sistemas de monitoreo de viento, 5 en La Paz y 5 en Oruro, la selección del sitio fue llevada a cabo en base a los siguientes criterios:

3.1.1 Criterio de la Selección

Para la selección de los sitios de candidates al monitoreo de viento, los aspectos siguientes fueron tenido en cuenta y comparado.

(1) Sitios donde estaba disponible un registro de observación meteorológico por SENAMHI

Si la exactitud de datos del SENAMHI fuera confirmado por los resultados del estudio de JICA, entonces se usarían estos para el plan de electrificación rural. Sin embargo, el resultado de la comparación muestra que los datos del SENAMHI no son exactos.

(2) Localidades que tienen otras fuentes de energía disponibles (excepto la extensión de la red).

El viento no es una fuente de energía estable para una planta de energía aislada. En general, se combina la generación por viento con diesel, micro hidro energía, o energía fotovoltaica para producir energía estable en programas de electrificación para comunidades aisladas. Además, las comunidades que usan otras fuentes de energía tienen amplia experiencia de operación y mantenimiento para plantas de energía aisladas

(3) Tamaño de la población

Información disponible en el VMEH se usó para evaluar la población de cantones en La Paz y Oruro. Como tamaños apropiados de población, se seleccionaron cantones con una población mayor a 300 en La Paz y mayor de 200 en Oruro, considerando la magnitud de beneficiarios del proyecto. En general, la población en Oruro es más pequeña que la de La Paz.

(4) Sitios que no serán cubiertos por extensión de la red dentro de los próximos 5-10 años

Se planifica la generación de energía con energía renovable en un sistema aislado en este estudio de electrificación rural. Los sitios a ser seleccionados no tienen prevista la extensión de la red en el futuro próximo.

(5) Distribución geográfica y accesibilidad para recolección de datos

Se tomo en cuenta la distribución geográfica para la selección de los sitios para cubrir el área no electrificada. Al mismo tiempo, se consideran tambien las condiciones de acceso de los sitios candidatos debido a que se recolectara información de estos sitios por un año.

3.1.2 Selección de Sitios

Usando el criterio arriba mencionado, se seleccionaron los sitios apropiados para la instalación de los sistemas de monitoreo de viento; 5 sitios en La Paz y 5 sitios en Oruro. Las características de los sitios seleccionados se resumen abajo y su ubicación se señala en la Figura 3.1 y 3.2

(1) La Paz

1) Achiri, Municipio: Caquiaviri
   Población: 1609
   Viviendas: 977
   Fuente de energía alternativa existente: Diesel (20 kW), para hospital y pozo publico.

2) Charaña, Municipio: Charaña
   Población: 1016
   Viviendas: 331
   Fuente de energía alternativa existente: Diesel (135 kW), PV

3) Ramón González, Municipio: G.J.J. Pérez
   Población 545
   Viviendas 202
   Fuente de energía alternativa existente: Estación de energía hídrica de Charazani 60kW

4) Isla Taquiri, Municipio: Manco Kapac
Población 300
Viviendas 100
Fuente de energía alternativa existente: ninguna

5) Santiago de Llallagua, Municipio: Colquencha
Población 1537
Viviendas 498
Fuente de energía alternativa existente: ninguna

(2) Oruro

1) El limite entre Comujo y Coipasa. Municipio: Coipasa
Comujo
Población 150
Viviendas 25
Fuente de energía alternativa existente: conexión con una estación de energía hídrica de Todos Santos 150 kW

Coipasa
Población 371
Viviendas 187
Fuente de energía alternativa existente: conexión con una estación de energía hídrica de Todos santos 150 kW.

El sitio candidato para el sistema de monitoreo de viento esta ubicado entre Comujo y Coipasa.

2) Caripe, Municipio: C. De Carangas
Población: 206
Viviendas: 93
Fuente de energía alternativa existente: ninguna

3) Chachacomani, Municipio: Turco
Población: 470
Viviendas: 232
Fuente de energía alternativa existente: ninguna

4) Salinas de Garci Mendoza, Municipio: S. Garci Mendoza
   Población: 1564
   Viviendas: 1038
   Fuente de energía alternativa existente: ninguna

5) Sevaruyo, Municipio: S. de Quillacas
   Población: 694
   Viviendas: 504
   Fuente de energía alternativa existente: Diesel (60 kW)

3.2 Instalación y Monitoreo

3.2.1 Trabajos de Instalación

(1) Alcance de los Trabajos de Instalación

Sistemas de monitoreo de viento fueron instalados en las localidades seleccionadas. El alcance de estos trabajos de instalación consisten de los siguientes ítems:

1) Transporte del equipo de monitoreo de viento
2) Construcción de los cimientos de la torre
3) Instalación del sistema de monitoreo de viento
4) Instalación de una cerca
5) Conexión con tierra
6) Inspección final

(2) Contrato y supervisión de la construcción

a) Proceso del Contrato

El proceso de adjudicación del contrato a una compañía local de construcción EDESER Co., Ltd. Se explica a continuación.

1) En fecha 2 de septiembre de 1999 se solicito a tres compañias locales de construcción costos estimados. El JICA Study Team envió las especificaciones

para la instalación a las siguientes compañias, luego de confirmar su experiencia.

1. EDESER Co., Ltd. (EDESER).
2. CADE Bolivia S.A. (CADE).
3. CODIMEC S.R.L. (CODIMEC).

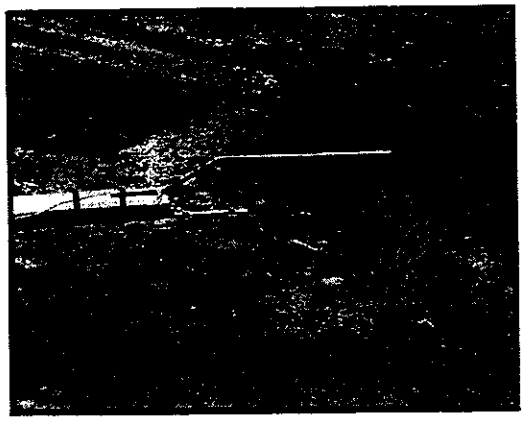
El costo estimado por EDESER Co., Ltd., fue el mas bajo de las tres empresas, y fue finalmente seleccionado como contratista para la instalación.

b) Perfil de la Compañía Constructora

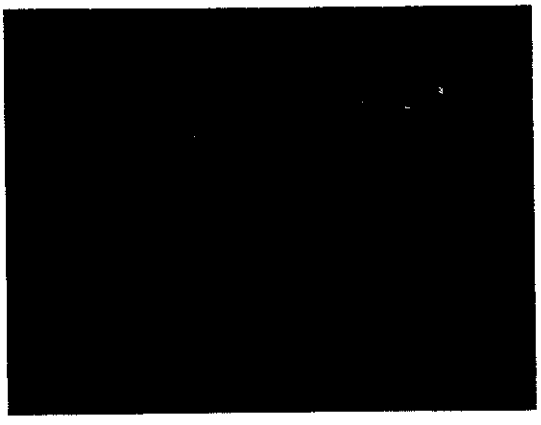
EDESER Co., fue fundada en Enero de 1997 y actualmente cuenta con doscientos cincuenta empleados, ciento veinticinco en las oficinas de La Paz, treinta y cinco en las oficinas de Oruro y noventa en las oficinas de Santa Cruz.

(3) Instalación de los Sistemas de Monitoreo de Viento

Los trabajos de instalación de los sistemas de monitoreo de viento comenzaron el 6 de enero y finalizaron el 4 de febrero del año 2000. Los trabajos de instalación sufrieron una demora respecto a lo programado debido a problemas de trámites de internación aduanera. El proceso de instalación de los sistemas de monitoreo de viento se muestra en la siguiente foto.



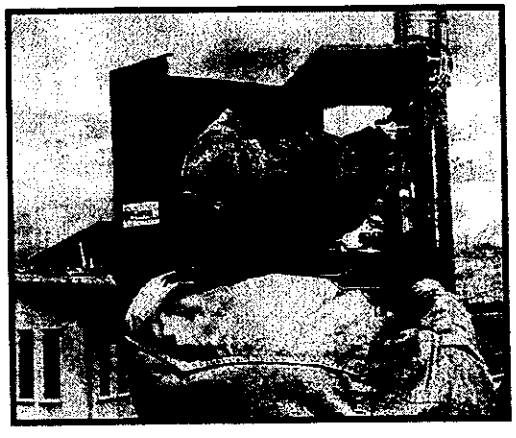
(a) Anemómetro y varilla de viento



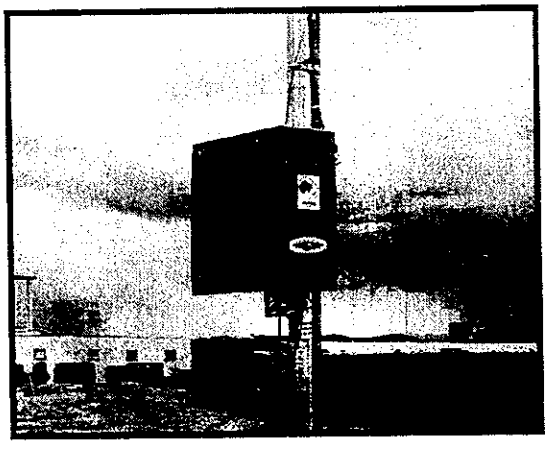
(b) Trabajos de conexión a tierra

(c) Levantamiento de la torre de monitoreo

(d) Instalación del sensor

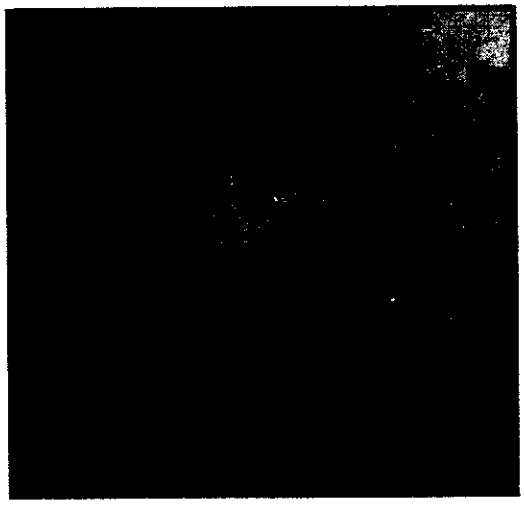


(e) Instalación del Data Logger



(f) Data Logger

(g) Torre de monitoreo en Caripe



(h) Torre de monitoreo en Comujo

(4) Problemas y soluciones durante los trabajos de Instalación.

Los trabajos de supervisión durante el periodo de construcción fueron llevados a cabo por el experto de JICA, durante los mismos, los siguientes problemas fueron resueltos.

Problemas	Soluciones
Solo un trípode con guinche para el levantamiento de la torre en diez localidades.	Reprogramar el calendario de instalación de las torres. Los trabajos de cimientos deben comenzar antes del levantamiento de la torre.
Mas de 4 días se requieren para el secado del concreto debido a lluvias	La construcción de los cimientos de concreto deben empezar al principio de los trabajos de instalación.
Poca mano de obra para trabajos de cercado, conexión a tierra y levantamiento de torre	La compañía constructora contrato mano de obra en las localidades.
El área para la instalación del sistema de monitoreo es muy pequeña.	Reducción del diámetro de anclaje.
Problemas de transporte debido a malas condiciones del camino por lluvias.	Evitar viajar de noche y con un solo vehículo.
El terreno era muy suave para instalar anclas.	En vez de atornillar las anclas en la tierra fijarlas con cemento.
Software para recibir la información del Data Card no pudo ser instalado en la computadora de la Prefectura de La Paz.	Instalar el software en las oficinas del VMEH.
La presión absoluta era muy baja para recuperar la información usando un sensor de presión de BP-20 y un data logger DL 9300	Fue necesario cambiar la tarjeta SIM en el data logger.

(5) Consideraciones para la instalación de Turbinas de Viento en el Futuro.

Los siguientes aspectos deben ser tomados en cuenta para instalaciones en el futuro.

- En época de lluvias, es muy difícil la construcción de cimientos y el transporte de equipo pesado especialmente en la parte sur de Oruro. Los cimientos deben ser construidos durante la época seca.
- No hay electricidad disponible en la mayor parte de las localidades. Un generador (Engine driven) deberá ser usado para los trabajos de construcción.
- La torre de la turbina de viento deberá ser levantada con guinche debido al limitado espacio para el uso de grúa u otro equipo pesado de construcción.

Para facilitar el mantenimiento, la instalación de un guinche manual es recomendado para la turbina de viento.

- Un equipo de comunicación tal como un celular o un teléfono satelital son necesarios.

3.2.2 Monitoreo

Luego de la instalación del sistema, el JICA Study Team comenzó el monitoreo y la recolección de información para el desarrollo de los proyectos planificados de energía eólica.

(1) Sistema de Monitoreo

El sistema de monitoreo eólico consiste de tres componentes: El NRG 9300 stand alone logger, el Term Reader, hand held terminal reader and the Base Station (Data collection and management software). El muestreo de viento sera realizado con el siguiente proceso.

- La información sobre el viento será recolectada de múltiplos sitios por el Data Logger NRG 9300.
- Información recolectada en el data card es trasmitida la una Estación Base usando un Lector Térmico.
- La Estación Base produce Data Files ASCII

Stand Alone Data Logger

El Stand Alone Logger acumula muestras de sensores meteorológicos que miden la velocidad del viento, dirección del viento, temperatura, humedad, presión absoluta y radiación solar. El logger tiene 12 canales de entrada, tarjetas SIM removibles para personalizar el sensor de entrada, un reloj programable y non volatile flash data card removible de 256 kilobytes para almacenamiento de información. De acuerdo a las especificaciones, 8 canales de entrada son usados para recolección de información, dos sensores de entrada para anemómetros y seis sensores análogos de entrada para otros sensores.

El data logger recoge muestras de información en todos sus canales cada segundo, luego calcula el promedio para cada canal al final de 10 minutos. Adicionalmente al calculo de promedios, el micro procesador calcula las desviaciones standard de

muestras en intervalos de un segundo, pone al día valores mínimos y máximos. El rango de salida del sensor y el data logger se muestran mas abajo. La Data Card tiene capacidad de almacenaje de 53 días por intervalos promedios de 10 minutos con 8 canales. El data logger copia el voltaje de las baterías internas y temperatura. Las Data cards son recuperadas en visitas periódicas a las localidades y luego son descargadas en la base de datos del computador de puerto usando el lector térmico. La estructura del sistema de monitoreo tambien se presentan en la siguiente figura.

Lector Térmico

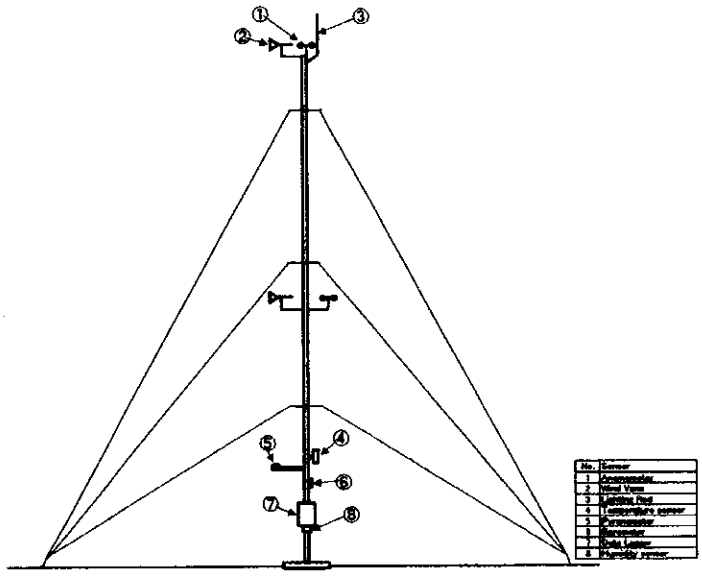
El lector térmico es usado para configurar y monitorear el stand alone logger del campo. Cuando se adjunta a una computadora que tiene el software en la Estación Base, el Lector Térmico baja la información almacenada en el data card a la Estación Base.

Estación Base

El software de la Estación Base administra la recuperación y organización de la información del logger. La Estación Base lee la información en bruto del data card, applies slopes and offsets the installation sensors and maintains site information and historical data. El Base Station tambien exporta información a los ASCII files con hoja de datos u otro programa.

Parámetros de los sensors

No.	Channel No.	Input	Sensor	Raw Sensor Output	Data Logger Output Range
1	1	Counter	Anemometer(20m)	0 to 120 Hz	0 to 91.3 m/s
2	4	Counter	Anemometer(10m)	0 to 120 Hz	0 to 91.3 m/s
3	1	Analog	Wind Vane(20m)	0 to 2.5 V	0 to 359 degrees
4	2	Analog	Wind Vane(10m)	0 to 2.5 V	0 to 359 degrees
5	3	Analog	Pyranometer	80 to 100 μA/1000W/m	0 to 3000 W/m2
6	4	Analog	Temperature Sensor	0 to 2.5 V	-40 to 52.5 ℃
7	5	Analog	Barometer	0 to 5 V	78.5 to 108.6 kPa
8	6	Analog	Relative Humudity Sensor	0 to 5 V	0 to 100 %



(Fuente: JICA Study Team)

Wind Monitoring System

(2) Data Sampling

La información recolectada para el análisis de viento comprende desde febrero del 2000 a enero del 2001. La tabla inferior resume el porcentaje de información recolectada sobre el monitoreo de viento en el periodo de un año. La información recuperada fue exitosa. Sin embargo, la presión barométrica no fue registrada por 4 meses debido a un problema de la tarjeta SIM y algunos errores en la información de radiación solar debido a un problema del sensor.

Información Recolectada

ID No.	Localidad	Información recuperada/ horas anual
1	Achiri	99.1%
2	Charana	99.1%
3	Gonzales	97.2%
4	Is. Taquiri	97.3%
5	Llallagua	90.6%
6	Comujo	100%
7	Caripe	99.6%
8	Chachacomani	99.6%
9	Salinas	90.5%
10	Sevaruyo	91.8%

Fuente: JICA Study Team

La información recolectada del monitoreo de viento se presenta en la Tabla 3.1

3.3 Análisis de la Información Recolectada

El análisis de la información recolectada fue realizado para establecer los proyectos prioritarios para el desarrollo de energía eólica. El análisis de la información de viento anual y velocidad diurna son los mas importantes para la selección de las localidades para el desarrollo de energía eólica.

3.3.1 Promedio mensual de Velocidad de Viento

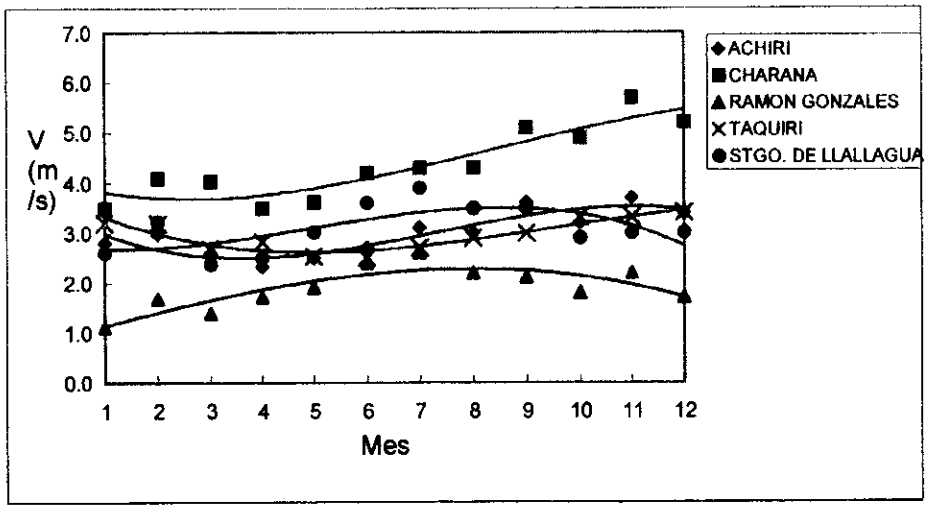
La velocidad del viento es un factor muy importante para el desarrollo de energía a ser generado por una turbina de viento. La energía de viento varia con el cubo del promedio de la velocidad del viento. Si la velocidad del viento es doble produce ocho veces de energía. Las localidades con un promedio anual de velocidad superiores a 4.5 m/s a 10 metros sobre el nivel de tierra son recomendadas para la planificación de energía eólica.

La velocidad del viento a 20 metros y 10 metros sobre el nivel de tierra fueron monitoreados por un año. El siguiente cuadro muestra el promedio mensual de la velocidad del viento a 20 metros de altura en las localidades de La Paz. El promedio mensual de velocidad de viento en Charaña es el mas alto a través de todo el año. La velocidad del viento menor esta en Ramón González durante este mismo periodo de monitoreo. El promedio de velocidad de viento en otras localidades, Achiri, Taquiri, Santiago de Llallagua son casi del mismo nivel. Charaña tiene el mas alto promedio de velocidad en La Paz.

Promedio Mensual de Velocidad de Viento en La Paz

ID No.	Localidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ACHIRI	2.8	3.0	2.6	2.3	2.5	2.7	3.1	3.0	3.6	3.2	3.7	3.4
2	CHARANA	3.5	4.1	4.0	3.5	3.6	4.2	4.3	4.3	5.1	4.9	5.7	5.2
3	RAMON GONZALES	1.1	1.7	1.4	1.7	1.9	2.4	2.6	2.2	2.1	1.8	2.2	1.7
4	TAQUIRI	3.2	3.2	2.7	2.8	2.5	2.5	2.7	2.9	3.0	3.3	3.3	3.4
5	STGO. DE LLALLAGUA	2.6	3.2	2.4	2.5	3.0	3.6	3.9	3.5	3.5	2.9	3.0	3.0

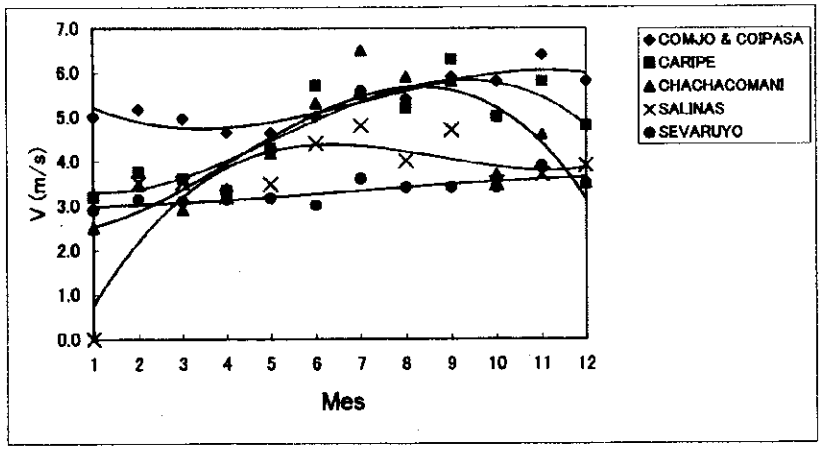
Fuente: JICA Study Team



Fuente: JICA Study Team

En Oruro el promedio de velocidad de viento en Comujo /Coipasa registro la velocidad mas alta a través de un año de monitoreo. El promedio de velocidad del viento registrado en Caripe y Chachacomani tambien es alto. De las tres localidades ubicadas en la parte Oeste del Departamento de Oruro, cercanas a las altas montañas. Como se señala mas abajo, fuertes vientos fueron registrados en la parte Oeste del departamento de Oruro.

Promedio Mensual de la Velocidad del viento en Oruro

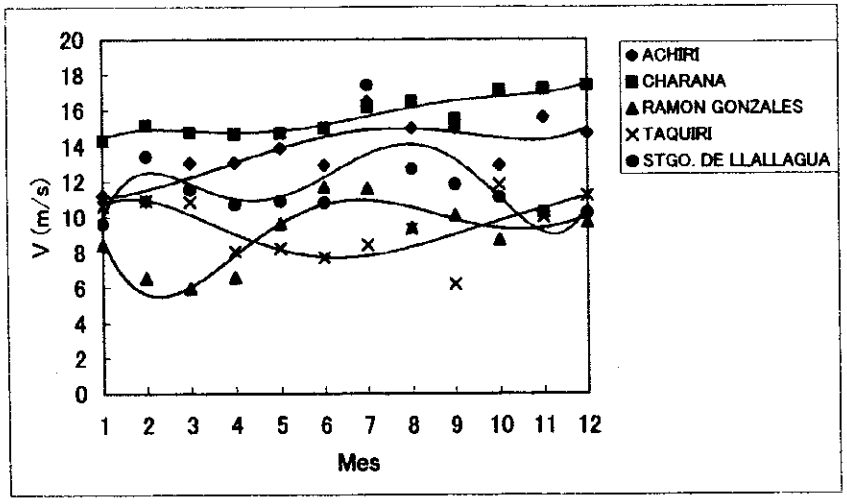


Fuente: JICA Study Team

3.3.2 Velocidad Máxima de Viento

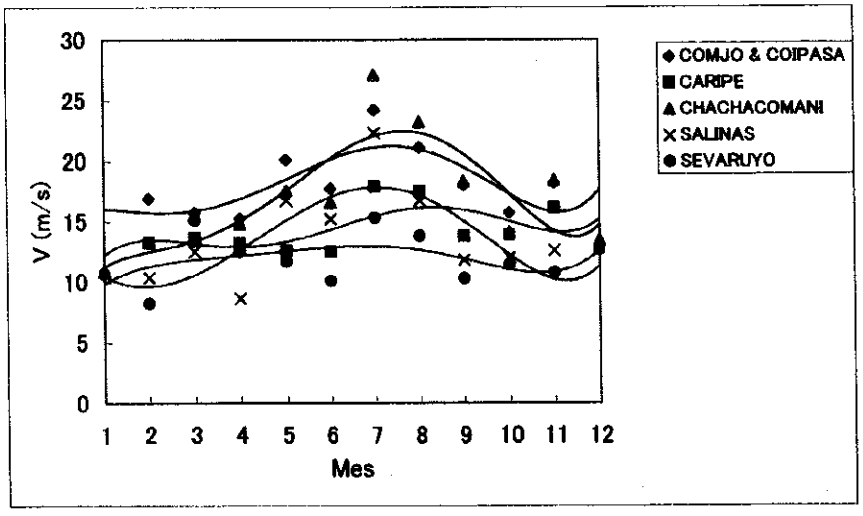
Velocidad máxima instantánea de viento a 20 metros de altura debería ser por debajo de 60 m/s para la generación de viento.

El siguiente cuadro muestra la velocidad máxima de viento mensual (promedio de 10 minutos) a 20 metros sobre nivel de la tierra en La Paz. La velocidad máxima de viento es alta en Charaña y Achiri a través del año y baja en Taquiri y Ramón González. En Charaña la velocidad máxima mantiene un alto nivel continuamente. La velocidad más alta de viento es de 17.4 y fue registrada en Santiago de Llallagua en Julio



Velocidad Máxima Mensual del viento en La Paz

En Oruro la velocidad máxima de viento es en Chachacomani y entre Comujo y Coipasa, es baja en Sevaruyo. La velocidad máxima de viento de 27 m/s fue registrada en Chachacomani en Julio.

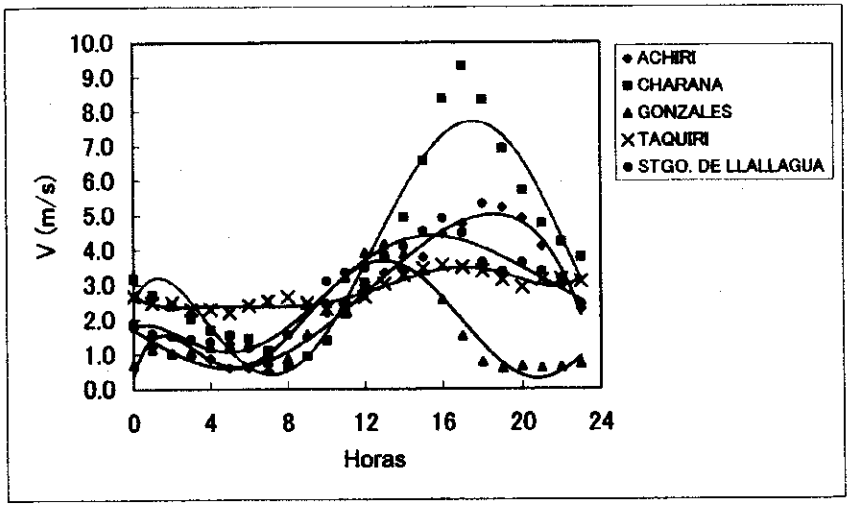


Velocidad Maxima Mensual del Viento en Oruro

3.3.3 Velocidad Diurna del Viento

La velocidad diurna del viento es un importante factor para estimar el balance entre la salida de energía de la turbina de viento y la demanda de las localidades. La producción de energía eólica difiere de tiempo en tiempo en un día. Si la velocidad del viento es alta y permanente en tiempo de demanda pico, no se requerirá una gran capacidad de almacenaje de la batería para este sistema.

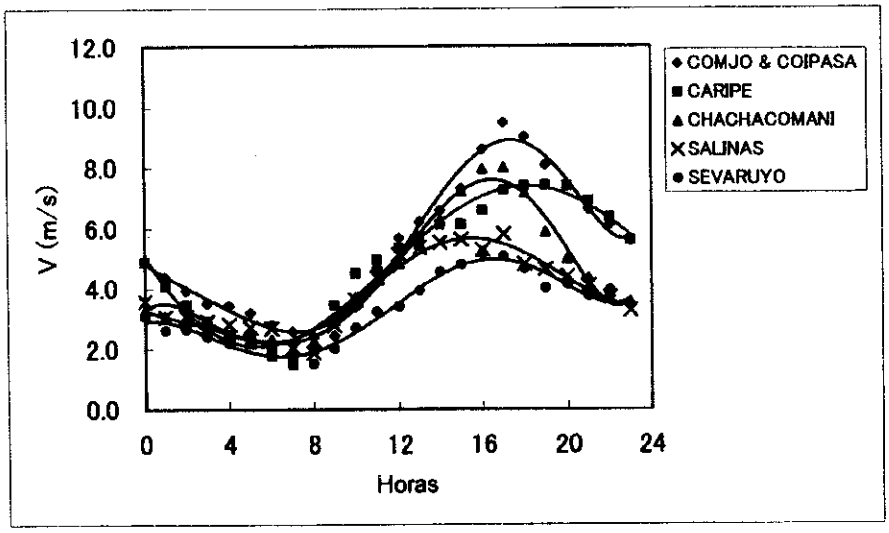
La figura mas abajo muestra la velocidad diurna del viento en las localidades monitoreadas en el Departamento de La Paz. La velocidad diurna del viento presentada en la tabla indica el promedio desde Febrero 2000 a Enero 2001. La información que muestra Charaña es unique diurnal wind speed pattern El promedio de la velocidad del viento en un año es de 4.4 m/s, sin embargo el promedio de viento entre las 13.00 y 23.00 es alto 7.0 m/s. Puesto que la demanda pico en Charaña esta entre las 19:00 y 21:30, el patrón de velocidad del viento diurno corresponde a la demanda. En Achiri y Santiago de Llallagua la velocidad del viento es mas fuerte durante la tarde y hasta el anochecer. En Ramón González, el promedio de la velocidad diurna es mas alta al medio día. En las Islas Taquiri la velocidad diurna del viento es relativamente estable y baja.



Velocidad Diurna del Viento en La Paz

La figura siguiente muestra la velocidad diurna del viento en las localidades monitoreadas en el Departamento de Oruro. La velocidad diurna del viento que se presenta en la figura, indica el promedio desde Febrero 2000 a Enero 2001. El promedio

de la velocidad del viento entre Comujo y Coipasa es de 5.3 m/s, sin embargo, el promedio de la velocidad del viento entre las 13:00 y 23:00 es alto 7.4 m/s. En Chachacomani el promedio de la velocidad del viento es de 4.5 m/s, pero el promedio durante las 13:00 a 23:00 horas es alto 6.2 m/s. En Caripe el promedio de la velocidad del viento es de 4.8 m/s, mientras que durante las 13:00 a 23:00 es alto 6.6 m/s. El promedio de la velocidad del viento en Salinas y Sevaruyo es relativamente uniforme y bajo.



Velocidad Diurna del Viento en Oruro

3.3.4 Dirección del Viento

El estudio de la rosa del viento es muy útil para planear energía eólica. Si la mayor parte del viento sopla de una dirección en particular, es necesario allanar el terreno o remover obstáculos de esa dirección.

La dirección del viento durante Febrero 2000 a Enero 2001 en La Paz se muestra en la Figura 3.3. La dirección del viento durante Febrero 2000 y Enero 2001 en Chachacomani, Sevaruyo y la de Febrero a Noviembre del 2000 en Caripe, Salinas y entre Comujo y Sevaruyo en Oruro se muestra en la Figura 3.4.

La rosa del viento muestra una distribución relativa de la dirección del viento. La rosa del viento varia en algunas localidades y la dirección principal del viento en Achiri e Isla Taquiri es Norte. En Charaña, la mayor parte del viento sopla del sud oeste y sud

oeste oeste. La dirección del viento es constante en Ramón González que esta cercado por altas montañas. El viento viene de muchas direcciones en Santiago de Llallagua.

La dirección principal del viento entre Comujo y Coipasa, Caripe y Chachacomani es Oeste. La dirección principal del viento en Salinas es Norte – Noroeste, mientras que en Sevaruyo es Norte.

3.3.5 Frecuencia de la Velocidad del Viento

La variación de la velocidad del viento esta descrita por la probabilidad de distribución de Weibull con un parámetro "k" y una escala de parámetro "A". El valor de "k" determina la forma de la curva, mientras que el valor de "A" determina la distribución de las horas con alta velocidad de viento. Histogramas típicos de velocidad del viento se muestran en las Figuras 3.5 y 3.6. La Figura muestra una probabilidad de la distribución de densidad. El área bajo la curva es siempre uno o 100%.

En todas las localidades monitoreadas la forma del parámetro k es pequeña debido al único modelo de velocidad diurna de viento. En La Paz, en todas las localidades excepto Isla Taquiri, el pico de la distribución de la velocidad del viento esta entre 9 y 2 m/s y el parámetro k es pequeño. En Isla Taquiri la distribución de la velocidad del viento es 2 a 3 m/s. El pico de la distribución de la velocidad del viento en Oruro es mas alto que en La Paz como promedio. Entre Comujo y Coipasa, el pico de la distribución de viento es alto de 3 a 5 m/s. En otras localidades el pico de la distribución del viento es entre 1 a 3 m/s.

3.3.6 Radiación Solar, Temperatura, Humedad y Presión Barométrica

La radiación solar, temperatura, humedad y presión barométrica fueron tambien medidos en cada una de las localidades de monitoreo. La presión barométrica no fue registrada desde Febrero a Mayo del 2000 debido a un problema con la tarjeta SIM. La información de radiación solar de Chachacomani, Salinas y Sevaruyo no fueron registradas por algunos meses debido a problemas en el sensor. La información mensual se muestra en la Tabla 3.1.

CAPÍTULO 4 POTENCIAL DE ENERGÍA EÓLICA Y SELECCIÓN DE LOCALIDADES PARA ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD.

4.1 Potencial de Energía Eólica en La Paz y Oruro

Los datos registrados en el monitoreo por la agencia meteorológica de Bolivia no son confiables debido a que el sistema de monitoreo de la agencia registra la información manualmente y solo tres veces al día. Además, la información registrada en el aeropuerto no pudo ser entregada para este estudio. Por lo tanto, el numero de información confiable sobre registros de viento para el área del proyecto es muy limitado, a pesar que se requieren cientos de datos para la preparación de un mapa de vientos en La Paz y Oruro.

Bajo estas circunstancias, el mapa de energía eólica potencial fue preparado preliminarmente en base a los datos recolectados a través de este estudio y otros datos geográficos disponibles son presentados en la Figura 4.1 y 4.2.

El mapa de energía eólica potencial indica un alto potencial de viento donde se estima un promedio de velocidad de viento sobre 4.0 m/s. y en el mapa el número en el circulo muestra el promedio anual de velocidad de viento a 20 metros sobre el nivel de tierra. El resultado muestra que el potencial de viento en Oruro es mas alto que en La Paz. El potencial es alto específicamente en la parte Oeste de Oruro y en la parte Sudoeste de La Paz. Por otra parte, la población sin electricidad en áreas de alto potencial eólico en el área de La Paz es mas alto que en Oruro.

4.2 Selección de las localidades con Alto Potencial de Desarrollo

Tres localidades potenciales para La Paz y Oruro fueron seleccionadas para estudios posteriores basados en los resultados de un año de monitoreo e información socio económica. Como criterio para la selección, potencial de viento, población cantonal, y desarrollo prioritario de las prefecturas fue tomado en consideración. En las localidades donde la velocidad anual promedio del viento supera 4.0 m/s se dio 5 como el puntaje mas alto y donde la velocidad anual promedio del viento es menor que 2.5 m/s se dio el puntaje mas bajo 1. En relación a la demanda potencial, en el lugar donde la población esta sobre 1.000 se dio el puntaje mas alto de 5. En la localidad donde el potencial mas

alto por la prefectura con un rango A se dio el puntaje de 5. Detalles de estas calificaciones se muestran a continuación.

1. Potencial de viento

Velocidad del viento (m/s)	Puntaje
4<=V	5
3.5<= V <4.0	4
3.0<= V <4.0	3
2.5<= V <3.0	2
V < 2.5	1

2. Demanda Potencial

Poblacion	Puntaje
100<=V	5
750<= V <1100	4
500<= V <750	3
250<= V <500	2
V < 250	1

3. Desarrollo Prioritario

Recomendación	Puntaje
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Los resultados calculados para las diez (10) localidades candidatos se presentan en la siguiente Tabla.

Hoja de puntajes para la selección de localidades para estudios de Pre Factibilidad

	ID No.	Localidad	Viento (m/s)	punto	Poblacion	punto	Recomendacion Por Prefectura	punto	Total Puntos	Rango
a Paz	1	Achiri	3.2	3	1642	5	B	4	12	2
	2	Charana	4.4	5	1037	5	A	5	15	1
	3	Gonzales	2.0	1	500	3	C	3	7	4
	4	Is. Taquiri	2.9	2	300	2	D	2	6	5
	5	Llallagua	3.0	3	1538	5	E	1	9	3
)ruro	6	Colpasa / Comjo	5.3	5	450	2	C	3	10	2
	7	Caripe	4.6	5	208	1	B	4	10	2
	8	Chachacomani	4.8	5	476	3	A	5	13	1
	9	Salinas	3.2	3	1603	5	E	1	9	4
	10	Sevaruyo	3.0	3	698	3	D	2	8	5

(Fuente: JICA Study Team)

Basándonos en los resultados anteriores, los siguientes tres cantones, uno en La Paz, y dos en Oruro fueron seleccionados para estudios de pre factibilidad.

La Paz	1	Charana
Oruro	1	Chachacomani
	2	Caripe

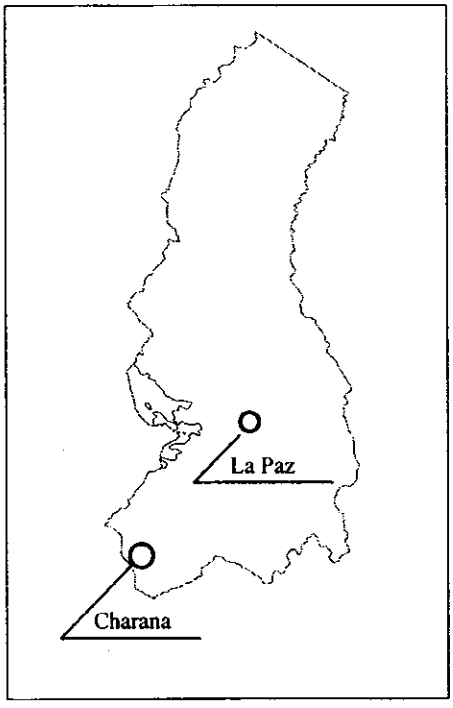
CAPÍTULO 5 ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL PROYECTO DE ENERGÍA EÓLICA EN CHARAÑA – LA PAZ

5.1 Ubicación y Topografía

Charaña es una ciudad limítrofe entre Bolivia y Chile, a 233 km. al sudoeste de la ciudad de La Paz. Se puede ver mas adelante, el mapa de ubicación y fotografía. La temperatura en Charaña es baja puesto que está localizada a 4.054 metros sobre el nivel del mar y cerca de montañas de 6.000 metros de altura. La temperatura promedio anual es de 5.1°C y la temperatura mínima es de –18.4 °C en Julio. Hay dos estaciones marcadas, la estación seca y la lluviosa. La precipitación anual es alrededor de 300 mm en Charaña.

Ubicación

Latitud:	S 17°35' 48"
Longitud:	W 69°26' 56"
Altura:	4054 m



Mapa de Ubicación de Charaña

Torre de Monitoreo Eólico en Charaña

5.2 Condiciones Socioeconómicas y Demanda de Electricidad

5.2.1 Condiciones Socioeconómicas

Información básica sobre las condiciones socio económicas de Charaña se muestran en la Tabla 5.1.

(1) Población

La población en Charaña era de 1.037 habitantes en 1992, la cual ha decrecido a 1.016 el 2000 de acuerdo al censo.

(2) Economía Local

La principal actividad económica en Charaña es el servicio aduanero y actividades relacionadas al mismo. Otras actividades económicas son la producción de vestuario en pequeñas fabricas y la crianza de ganado.

(3) Electricidad y otras Infraestructuras

La electricidad se suministra en Charaña a través de un generador a diesel. La capacidad instalada del generador a diesel es de 135 kVA, y provee electricidad a 80 viviendas desde las 19:00 a 21:30 cada día. El generador a diesel es operado por el Cantón. La tarifa eléctrica por vivienda es de Bs. 300 al mes, mientras que las viviendas sin electricidad gastan alrededor de 25 Bs. al mes por lámparas de gas. El sistema de suministro de agua está operado por el Cantón. El sistema de suministro de agua a las 200 viviendas con una tarifa de 5 Bs. al mes. Existen tres escuelas en Charaña, a ser, escuela publica elemental, escuela privada elemental y escuela publica secundaria. Cerca de 200 estudiantes estan en la escuela elemental publica, cerca de 150 en la escuela elemental privada y 60 en la escuela secundaria. Ninguna de las escuelas cuenta con el suministro de electricidad. Existe una clínica de salud con luz suministrada por un sistema FV. El principal propósito para el suministro de electricidad es comunicación por radio e iluminación.

5.2.2 Demanda de Electricidad

La demanda de electricidad para el proyecto de energía eólica en Charaña fue estimado en base a una encuesta en la comunidad. Puesto que existen establecimientos públicos y comerciales además de los residenciales, la demanda fue estimada para la actividad

comercial, servicio público y viviendas separadamente. El año objetivo para la estimación de la demanda fue establecido como el año 2005.

(1) Demanda para uso de viviendas

De acuerdo con los resultados de la encuesta en la comunidad, las viviendas existentes estan divididas en dos tipos, es decir vivienda pequeña y vivienda grande. Diferentes tipos de artefactos eléctricos son operados en cada casa y por lo tanto el consumo eléctrico difiere. Como resultado de la investigación, unidades de consumo eléctrico fueron estimados para ambos pequeñas y grandes viviendas, como se resume a continuación.

Demanda de Energía por Vivienda

Vivienda		Artefactos electricos	No.	Energía (W)	Consumo Electrico (horas/dia)	Energia (kWh/dia)	Total Consumo Energia (kWh/dia)	Consumo Anual Energia (kWh/año)
1	Vivienda	Luz CF	1	12	4	0.048		
	(pequeña	Luz 60W	2	60	4	0.48		
		Radio	1	15	8	0.12	**0.65**	260
2	Vivienda	Luz CF	2	12	5	0.12		
	(Grande	Luz 60W	2	60	5	0.6		
		AM/FM stereo	1	20	4	0.08		
		TV 19" -color	1	60	4	0.24		
		Bomba de agua	1	100	3	0.3	**1.34**	538

Fuente: JICA Study Team

(2) Demanda para uso Comercial

Como establecimientos comerciales existen restaurantes, tiendas, oficinas y pequeñas industrias en Charaña. La demanda de electricidad es pequeña en los pequeños restaurantes, mientras es mayor en un restaurante grande o tienda grande. La demanda de electricidad es alta en las oficinas en general. Las industrias en pequeña escala se establecerán luego de la electrificación con energía renovable. Las unidades de consumo eléctrico para usos comerciales fueron estimados y se presentan a continuación.

Demanda de Energía para Uso Comercial

Micro-enterprise	Electric appliance	No.	Power (W)	Electric Consumption (hours/day)	Energy (kWh/day)	Total Power Consumption (kWh/day)	Annual Power Consumption (kWh/year)
1 Cafe(small)	CF Light	2	12	5	0.12		
	60W Light	1	60	2	0.12		119
	Radio	1	20	6	0.12	0.40	(300days/year)
2 Cafe(large)	CF Light	3	12	5	0.18		
	60W Light	1	60	2	0.12		
	Blender	1	350	1	0.35		
	Stereo	1	55	2	0.11		330
	TV set(25"color)	1	120	2	0.24	1.10	(300days/year)
3 Store (small)	CF Light	2	12	3	0.072		
	60W Light	2	60	2	0.24		129
	Radio	1	20	4	0.08	0.43	(300days/year)
4 Store (large)	CF Light	2	12	3	0.072		
	60W Light	2	60	2	0.24		
	Radio	1	20	4	0.08		525
	Refridgrrator	1	120	10	1.2	1.75	(300days/year)
5 Office (small)	CF Light	2	12	3	0.072		
	60W Light	2	60	3	0.36		
	TV set(19"color)	1	60	2	0.12		
	Computer set	1	155	3	0.465		362
	Printer	1	500	0.5	0.25	1.39	(260days/year)
6 Office (large)	CF Light	4	12	6	0.288		
	60W Light	4	60	10	2.4		
	Computer set	3	155	6	2.79		
	Printer	1	500	1	0.5		
	TV set(25"color)	1	120	2	0.24		1813
	VCR	1	120	1	0.12	6.97	(260days/year)
7 Small Industry	60W Light	2	60	1	0.12		163
(Sewing)	Sewing machine	1	75	5	0.375	0.54	(300days/year)

Fuente: JICA Study Team

(3) Demanda para establecimientos públicos

Los establecimientos públicos existentes son un centro comunitario, escuelas y clínica de salud. Las unidades de consumo eléctrico para los establecimientos públicos fueron estimados y se resumen a continuación:

Demande de Establecimientos Públicos

Establecimiento Publico		Artefacto Electrico	No	Energía (W)	Consumo Electrico (horas/día)	Energía (kWh/día)	Total Consumo de Energía (kWh/día)	Consumo Anual de Energía (kWh/día)
1	Centro	Luz CF	8	12	6	0.576		
	Comunitario	Luz 60W	2	60	6	0.72		
	(Grande)	TV color 25"	1	120	3	0.36		
		VCR	1	120	1	0.12		524
		Equipo Estereo	1	55	1	0.055	2.01	(260 días/año)
2	Escuela	Luz CF	44	12	6	3.168		
	(8 aulas)	Luz 60W	6	60	12	4.32		
		TV color 25"	3	120	2	0.72		
		VCR	2	120	1	0.24		2151
		Equipo Estereo	1	55	1	0.055	9.35	(230 días/año)
3	Clinica Salud	Luz CF	6	12	6	0.432		
	(Grande)	Luz 60W	2	60	6	0.72		
		Refrigerador Vacunas	1	60	24	1.44		
		VHF radio Stand by	1	2	24	0.048		
		VHF radio	1	30	1	0.03		
		Vaporizador	1	40	2	0.08		1073
		Bomba de Agua	1	100	5	0.5	3.58	(300 días/año)

Fuente: JICA Study Team

(4) Demanda Total Estimada

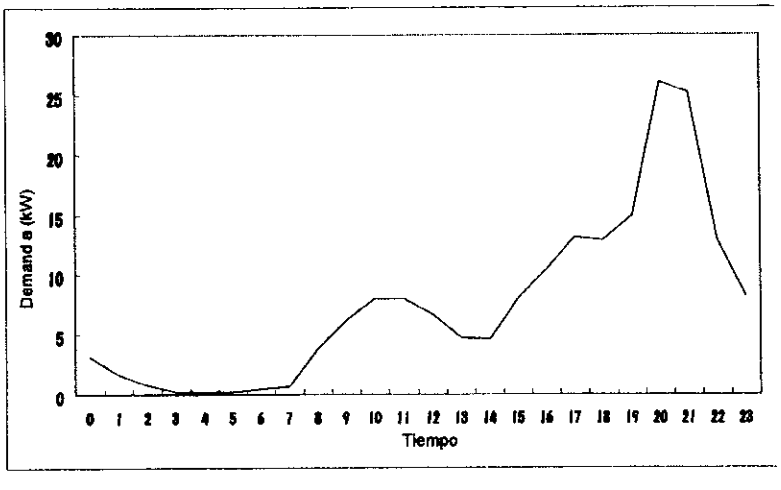
Para estimar la demanda total de electricidad, se proyectó el número de establecimientos considerando el desarrollo futuro del área del proyecto.

La proyección de los establecimientos es como sigue.

Item		Numero
Viviendas	grande	30
	pequeña	120
Café	grande	3
	pequeño	5
Tienda	grande	2
	pequeño	3
Oficina	grande	3
	pequeño	4
Negocio Pequeño	-	10
Centro Comunitario	grande	1
Escuela	grande	3
Clinica	grande	1

Fuente: JICA Study Team

Basados en los datos anteriores y con un consumo unitario estimado de electricidad, se calculó el total de la demanda eléctrica. La curva de demanda de energía diaria fue estimada como se muestra a continuación. El pico de la demanda se encuentra alrededor de 26kW, que sucede entre las 20:00 y 21:00. La tabla 5.2 muestra la demanda diaria estimada de energía.



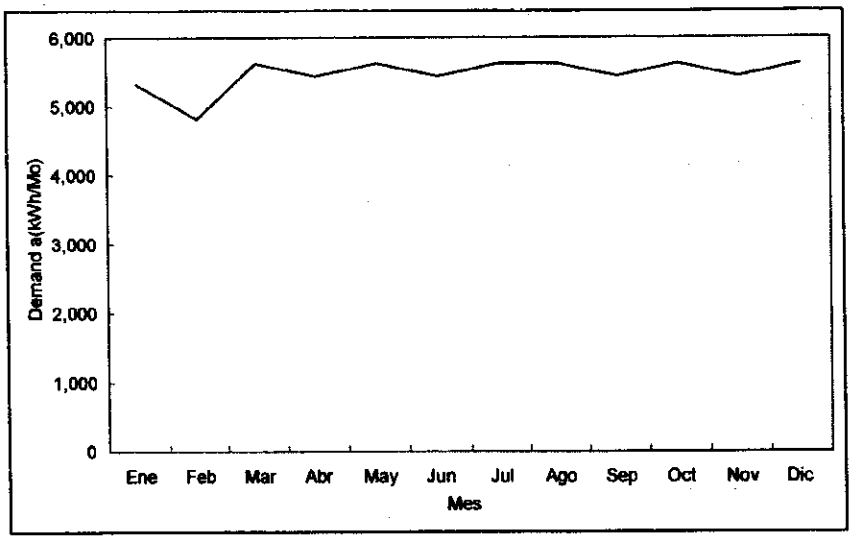
Curva de la Demanda Diaria Estimada

La demanda mensual de energía fue tambien calculada como se presenta en la siguiente tabla y figura. Como se señaló, el total anual de la demanda eléctrica fue estimado en 65,678kWh.

Demanda Mensual de Energía en Charaña

Mes	Demanda kWh/M
Ene	5,328
Feb	4,812
Mar	5,626
Abr	5,445
May	5,626
Jun	5,445
Jul	5,626
Ago	5,626
Sep	5,445
Oct	5,626
Nov	5,445
Dic	5,626
	65,678

Fuente: JICA Study Team

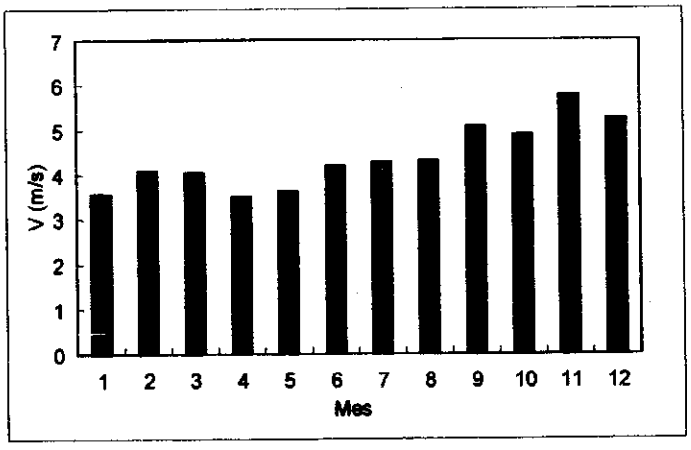


Curva de la Demanda Anual Estimada

5.3 Análisis de la Información Eólica

5.3.1 Análisis de Información de Vientos

El promedio mensual y diario de velocidad de viento a 20 metros sobre el nivel de tierra se muestra a continuación. El promedio anual de velocidad en Charaña es de 4.37 m/s. En Charaña, el promedio mensual de la velocidad de viento desde septiembre a diciembre es alta 5.2 m/s, mientras que el promedio de la velocidad mensual de viento de enero a agosto es baja 3.9 m/s. Esto indica que la salida de energía difiere de mes a mes.



Promedio Mensual de Velocidad del Viento (m/s)

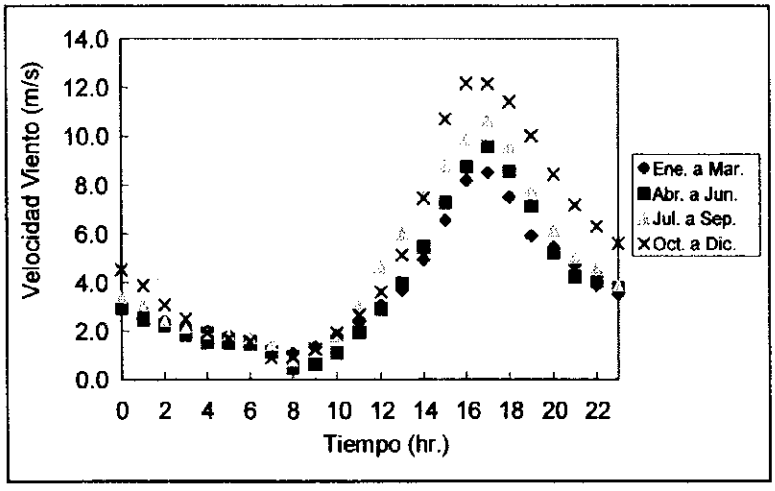
Promedio Mensual de Velocidad del Viento (m/s)

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Velocidad Promedio (m/s)	3.5	4.1	4.0	3.5	3.6	4.2	4.3	4.3	5.1	4.9	5.7	5.2

Fuente: JICA Study Team

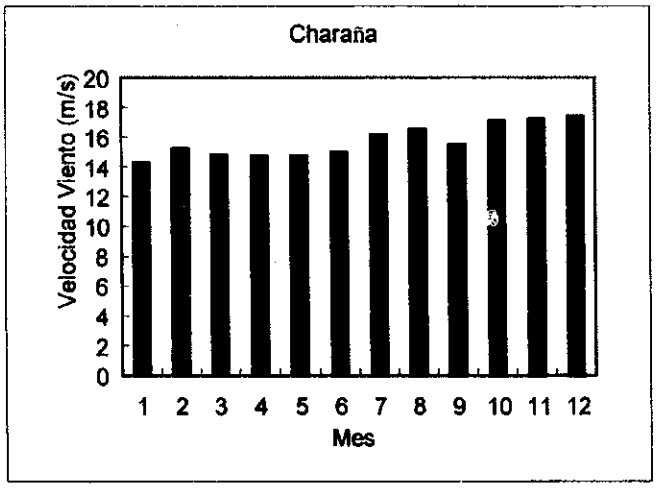
De acuerdo a la matriz de la velocidad diaria, el viento sopla fuerte entre las 14:00 a 20:00 cuando la demanda de electricidad es alta. Por otra parte, el viento sopla muy débilmente para la generación de energía entre las 0:00 a 12:00.

Tomando en cuenta este hecho, se requiere un sistema híbrido de generación con una fuente alterna de energía para la provisión de energía estable.



Promedio Diario de Velocidad de Viento (m/s)

La velocidad máxima mensual de 10 minutos promedio a 20 metros sobre el nivel de tierra en Charaña se muestra a continuación. El promedio anual de la velocidad máxima de viento es de 15.8 m/s. Los resultados indican que no hay vientos extraordinariamente fuertes tales como tifones o huracanes.



Velocidad Mensual Máxima de Viento (m/s)

Velocidad Mensual Máxima de Viento (m/s)

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Promedio velocidad (m/s)	14.3	15.2	14.8	14.7	14.7	15.0	16.2	16.5	15.5	17.1	17.2	17.4

Fuente: JICA Study Team

El promedio mensual de la velocidad de viento direccional en Charaña se muestra en la figura 5.1. En Charaña, el promedio de la velocidad del viento del sudoeste es mas fuerte a través del año. Por lo tanto, es necesario regular la construcción de cualquier edificación por encima de la corriente.

La tabla 5.3 muestra la distribución direccional y frecuencia mensual de la velocidad de viento en Charaña. Esta figura muestra la dirección y frecuencia de vientos de alta velocidad que es mas alta en dirección del sud-sudoeste al oeste-oestenorte.

La figura 5.2 muestra la distribución /frecuencia de la dirección del viento. La frecuencia /distribución de la dirección del viento es alta en el sudoeste correspondiendo a la dirección de fuertes velocidades de viento. La frecuencia de la dirección del viento es estable en Charaña.

La figura 5.3 muestra la distribución de probabilidades de Weibull en Charaña. Las variaciones de velocidad de viento son bien descritas con el modelo del parámetro "k" y la escala del parámetro "A". El valor de "k" determina la forma de la curva. El valor de "A" determina la distribución de horas con alta velocidad. El promedio anual del parámetro k es 1.15 y A es 4.5. Puesto que el viento fuerte sopla solamente durante las tardes, la diferencia del promedio de velocidad de viento en la mañana y la tarde hace que la forma del parámetro "k" sea pequeña.

La tabla 5.4 muestra la energía de la densidad mensual de viento. El poder del viento varia linealmente con la densidad del aire. La densidad del aire varia con la presión y temperatura. En general, la energía de la densidad del viento es pequeña en Charaña debido a la altura. El sitio con una densidad superior a 150 W/m^2 se encuentra a 10 metros sobre el nivel de la tierra y es aceptable para el desarrollo de energía eólica. El promedio de la densidad del viento es menor en Charaña, sin embargo el valor de la tarde hasta el anochecer es alto por los fuertes vientos que soplan durante este periodo.

La tabla 5.5 muestra la intensidad de la turbulencia que es relativa a la velocidad del viento y el terreno. La intensidad de la turbulencia es definida como la relación de la desviación standard de la velocidad del viento con respecto a la velocidad del viento. El lugar con una turbulencia bajo 0.3 se encuentra a 20 metros sobe el nivel de tierra y es conveniente para el desarrollo de energía eólica. La intensidad de la turbulencia en Charaña está bajo 0.3 en todas las direcciones.

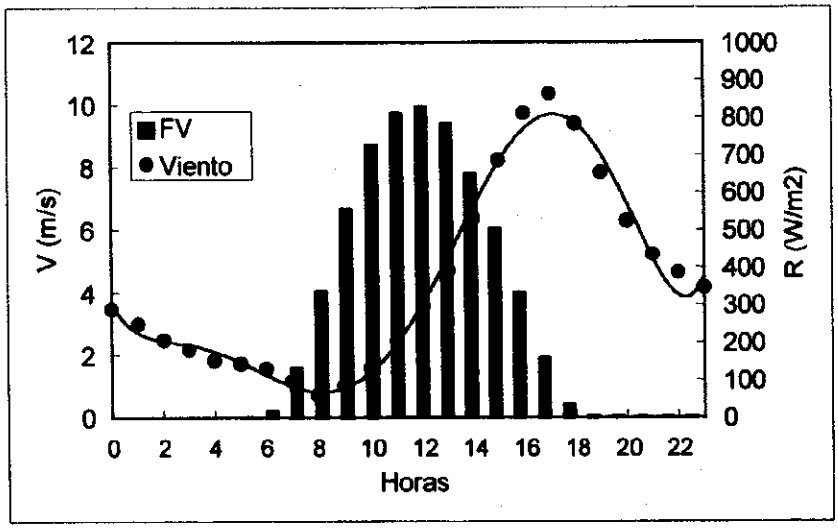
5.3.2 Relación Complementaria entre Viento y Energía Solar

Existen variaciones diarias y temporales del patrón de velocidad de viento. Esto hace difícil el obtener energía estable con un sistema de generación eólica independiente. Sin embargo existen relaciones complementarias entre viento y energía solar en Charaña.

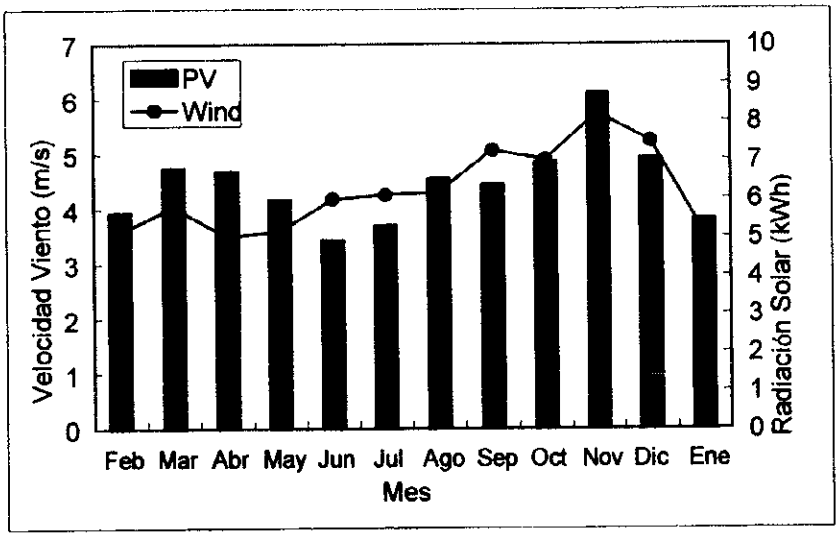
La figura siguiente muestra la relación complementaria entre la velocidad del viento y la radiación solar en Charaña. El potencial de energía solar es alto entre las 9:00 y 15:00 horas cuando el viento es todavía bajo, mientras que el viento fuerte es entre las 14:00 y 20:00 que es cuando la radiación solar es débil. Por lo tanto, se sugiere la planificación de un sistema eólico y FV combinados en un sistema híbrido para la obtención de energía estable.

En la segunda figura, el promedio mensual de la velocidad de viento y el de energía solar son resumidos presentando un promedio mensual para Febrero del 2000 hasta Enero 2001. La relación complementaria no es identificable en esta figura.

Existe una relación geográfica complementaria entre el viento y la energía solar en la altura. El potencial de viento en la altura es mas bajo debido a los bajos valores de la densidad de aire. Por otra parte, la radiación solar es mas alta en la altura debido a la pureza del aire.



Velocidad Diaria vs. Radiación Solar en Charaña



Velocidad Mensual vs. Radiación Solar en Charaña

5.4 Desarrollo de un Esquema Optimo

Un generador de viento independiente no tiene la suficiente capacidad de generación eléctrica diaria en Charaña, a pesar de que existe una alta demanda de electricidad en oficinas y escuelas. Para tener una generación eléctrica mas estable, la generación eólica debe ser combinada con otra fuente de energía.

Las opciones de combinación son:

1. Sistema Híbrido Eólico – Diesel
2. Sistema Híbrido Eólico – FV
3. Sistema Híbrido Eólico – Micro Hidro Energía

De acuerdo a la política del VMEH, la instalación de un generador a diesel no es recomendable para electrificación rural debido al alto costo de operación y efectos en el medio ambiente. La Micro Hidro Energía es otra alternativa, pero no existe una fuente apropiada cerca de Charaña. Por lo tanto, el sistema híbrido eólico con energía solar se sugiere para Charaña debido a la relación complementaria favorable entre viento y radiación solar.

El esquema optimo a ser desarrollado en Charaña fue determinado de acuerdo al siguiente procedimiento:

- La capacidad de generación instalada del sistema híbrido eolico-FV fue diseñada para generar suficiente electricidad en Enero, el mes mas bajo de potencial eólico y solar.
- El potencial de viento es bajo durante el día. Por lo tanto la capacidad FV fue diseñada para generar mas del 80% de la demanda de energía entre las 8:00 y 17:00 horas para compensar el bajo potencial de viento. La capacidad mínima del sistema FV requerida en enero se estima en 12kWp.
- Esquemas de desarrollo alternativo con diferentes combinaciones de viento y FV fueron formulados tomando en consideración lo anterior.
- El sistema híbrido que tiene mejor costo/eficiencia fue seleccionado de los diferentes esquemas.

Cinco diferentes combinaciones fueron formuladas y se hizo comparación de costo los que se resumen en la tabla siguiente.

De esta comparación, la combinación de energía eólica 80kW y FV 16kWp fue seleccionada como el esquema optimo con el mas bajo costo de inversión.

Costo de Inversión para Sistemas Híbridos Viento-FV

	1	2	3	4	5
Wind (kW)	100	90	80	70	60
PV (kWp)	5	11	16	22	28
Total (USD)	295,000	311,000	320,000	336,000	352,000

Fuente: JICA Study Team

5.5 Diseño Preliminar y Estimación de Costo

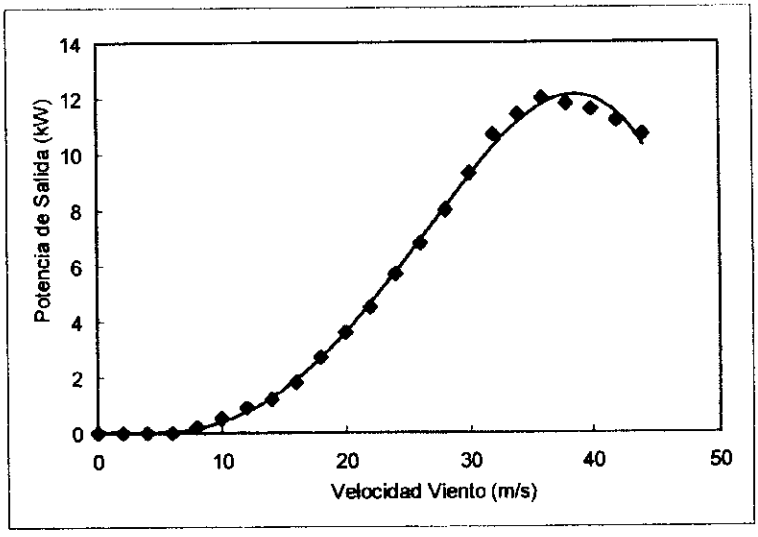
5.5.1 Diseño Preliminar para una Turbina de Viento

(1) Diseño Preliminar para Energía Eólica

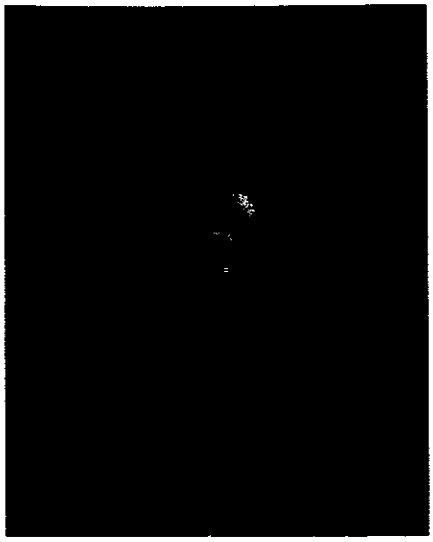
Varios tipos de turbinas de viento existen en el mundo. La selección de la turbina fue hecha tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- La torre de viento seria instalada usando una grúa, tomando en cuenta las condiciones del camino hasta el lugar del proyecto y su fácil mantenimiento.
- Deben tener experiencia de operación en países en desarrollo
- Deben tener experiencia en sistemas híbridos eólico/solar
- Debe ser vendida por agentes establecidos en Bolivia, Sud /Norte América.

Por las razones anteriormente señaladas fue seleccionada para calcular la potencia de la turbina BWC 10kW. La curva de rendimiento y la generación de energía proyectada para una turbina BWC 10kW se muestra en las siguientes figuras:



Curva de Rendimiento de la Turbina BWC 10kW



BWC 10kW

La generación de energía de la turbina seleccionada se estima de la siguiente manera

Estimación de la Energía Proyectada

A : Input

V (mph)	kW	Wind Probability (f)	Net kW
0	0	5.783%	0.00
2	0	13.217%	0.00
4	0	12.557%	0.00
6	0	11.226%	0.00
8	0.2	9.763%	0.02
10	0.5	8.348%	0.04
12	0.9	7.052%	0.06
14	1.2	5.903%	0.07
16	1.8	4.904%	0.09
18	2.7	4.048%	0.11
20	3.6	3.324%	0.12
22	4.5	2.716%	0.12
24	5.7	2.210%	0.13
26	6.8	1.792%	0.12
28	8	1.447%	0.12
30	9.3	1.165%	0.11
32	10.7	0.936%	0.10
34	11.4	0.749%	0.09
36	12	0.598%	0.07
38	11.8	0.477%	0.06
40	11.6	0.379%	0.04
42	11.2	0.300%	0.03
44	10.7	0.238%	0.03
	Totals :	99%	1.52

B : Result

Wind Speed at hub high	4.92 m/s
Air density	0.976 kg/m^3
Air density ratio	0.80
Average power output	1.52 kW
Annual energy output	10101 kWh/year
Monthly energy output	858 kWh/Mo
Daily energy output	27.67 kWh/day
Capacity Factor	11.5 %
Availability	68 %

Fuente: JICA Study Team

(2) Generacion Estimada de Energia

La generación total de energía eólica incluyendo un sistema FV fue estimada en 122,560 kw/h como se resume a continuación.

Generación Mensual de Energía en Charaña

Mes	Generacion kWh/Mes
Ene	8,328
Feb	7,765
Mar	10,034
Abr	8,687
May	8,684
Jun	9,131
Jul	9,840
Ago	10,340
Sep	11,582
Oct	11,575
Nov	13,977
Dic	12,616
	122,560

Fuente: JICA Study Team

5.5.2 Sistema Eólico Propuesto

Como se explico anteriormente, el sistema de generación de energía en Charaña consiste de una turbina de viento y un sistema FV. El generador a diesel existente se usara como un sistema de refuerzo. De acuerdo a las políticas de desarrollo del VMEH, la electrificación con el generador de diesel no es recomendable. Sin embargo, para una localidad con alta demanda como Charaña, un generador de refuerzo es necesario para los periodos de mantenimiento y/o súbito incremento de la demanda.

La tabla siguiente muestra las especificaciones del sistema principal y el sistema propuesto como se presento en la Figura 5.4. El mapa de instalación se presenta en la Figura 5.5.

Especificaciones del Sistema de Generación de Energía en Charaña

Item	Capacidad	
Turbina de Viento	80	kW
Fotovoltaico	16	kWp
Inversor	64	kVA
Conversor	20	kVA
Bateria	44	kAh

Fuente: JICA Study Team

BWC 10kW

La generación de energía de la turbina seleccionada se estima de la siguiente manera

Estimación de la Energía Proyectada

A : Input

Rated power output	10 kW
Weibull shape parameter k	1.15
Weibull scale parameter c	5.2
Wind Speed at anemo. high	4.4 m/s
Time period (Annual)	8760 hr
Time period (Month)	744 hr
Time period (Day)	24 hr
Anemo. Height	20 m
Altitude	4054 m
Temperature	5.1 ℃
Barometric pressure	779 hPa
Terrain roughness	0.2 m
Hub height	36 m
Pef. Safety Margin	5 %
Standard air density	1.225 kg/m^3
Std. Barometric pressure	1013 hPa

B : Result

Wind Speed at hub high	4.92 m/s
Air density	0.976 kg/m^3
Air density ratio	0.80
Average power output	1.52 kW
Annual energy output	10101 kWh/year
Monthly energy output	858 kWh/Mo
Daily energy output	27.67 kWh/day
Capacity Factor	11.5 %
Availability	68 %

V (mph)	kW	Wind Probability (f)	Net kW
0	0	5.783%	0.00
2	0	13.217%	0.00
4	0	12.557%	0.00
6	0	11.226%	0.00
8	0.2	9.763%	0.02
10	0.5	8.348%	0.04
12	0.9	7.052%	0.06
14	1.2	5.903%	0.07
16	1.8	4.904%	0.09
18	2.7	4.048%	0.11
20	3.6	3.324%	0.12
22	4.5	2.716%	0.12
24	5.7	2.210%	0.13
26	6.8	1.792%	0.12
28	8	1.447%	0.12
30	9.3	1.165%	0.11
32	10.7	0.936%	0.10
34	11.4	0.749%	0.09
36	12	0.598%	0.07
38	11.8	0.477%	0.06
40	11.6	0.379%	0.04
42	11.2	0.300%	0.03
44	10.7	0.238%	0.03
	Totals :	99%	1.52

Fuente: JICA Study Team

(2) Generacion Estimada de Energia

La generación total de energía cólica incluyendo un sistema FV fue estimada en 122,560 kw/h como se resume a continuación.

Generación Mensual de Energía en Charaña

Mes	Generacion kWh/Mes
Ene	8,328
Feb	7,765
Mar	10,034
Abr	8,687
May	8,684
Jun	9,131
Jul	9,840
Ago	10,340
Sep	11,582
Oct	11,575
Nov	13,977
Dic	12,616
	122,560

Fuente: JICA Study Team

5.5.2 Sistema Eólico Propuesto

Como se explico anteriormente, el sistema de generación de energía en Charaña consiste de una turbina de viento y un sistema FV. El generador a diesel existente se usara como un sistema de refuerzo. De acuerdo a las políticas de desarrollo del VMEH, la electrificación con el generador de diesel no es recomendable. Sin embargo, para una localidad con alta demanda como Charaña, un generador de refuerzo es necesario para los periodos de mantenimiento y/o súbito incremento de la demanda.

La tabla siguiente muestra las especificaciones del sistema principal y el sistema propuesto como se presento en la Figura 5.4. El mapa de instalación se presenta en la Figura 5.5.

Especificaciones del Sistema de Generación de Energía en Charaña

Item	Capacidad
Turbina de Viento	80 kW
Fotovoltaico	16 kWp
Inversor	64 kVA
Conversor	20 kVA
Bateria	44 kAh

Fuente: JICA Study Team

5.5.3 Estimación de Costo

(1) Condiciones para la Estimación

La estimación de costo fue realizada asumiendo las siguientes condiciones:

1) Todos los costos fueron estimados a un nivel de precios de Junio 2001.
2) Importación de equipo y materiales fueron estimados basados en tarifas internacionales de desaduanaje, incluyendo costos por impuestos.
3) Los trabajos de construcción serán en base a contratos en lugar de participacion de gente del lugar.
4) Los costos administrativos y de ingeniería fueron estimados en 9% del costo de construcción.
5) IVA (13%) e impuesto de transacción (3%) fueron estimados e incluidos en el costo.
6) Las tasas de cambio aplicadas son: US$ = Bs. 6.53, US$ = JPY 120.5

(2) Costo Total de la Construcción

El costo financiero estimado para la construcción total es de US$ 817.798, como se resume a continuación. La tabla 5.6 indica detalles del costo de construcción.

Costo Total de Construcción

Unidad : U

Item	Costo
1. Generador de Viento, Sistema FV, etc.	**478,822**
2. Linea de Distribución	**35,885**
3. Trabajos de Instalacion	**144,000**
4. Transporte	**92,946**
5. Costo Directo Total	**751,653**
6. Servicios de Administración e Ingenieria	**66,145**
Costo de Construction Total	**817,798**

Fuente: JICA Study Team

5.5.4 Calendario de Construcción

El calendario de construcción para la implementaron del proyecto de Charaña fue formulado basado en las siguientes condiciones:

- El diseño detallado será completado en 4 meses.
- Los principales trabajos para el proyecto serán realizados en la estación seca.
- Para la eficiente implementación del diseño y supervisión de la construcción, consultores de experiencia serán empleados.
- Incluyendo el periodo de adjudicación, el levantamiento de la torre será completado dentro de 8 meses.

Asumiendo que el tiempo requerido para el diseño es de 4 meses, el periodo necesario para completar el proyecto es cerca de 12 meses, como se puede ver en la figura 5.6.

5.6 Implementación y OM

Luego de analizar las organizaciones existentes y con el objeto de desarrollar la electrificación rural sostenible para el proyecto de energía eólica en Charaña, la siguiente estructura de implementación y sistema de operación y mantenimiento fueron propuestos.

(1) Organización para Implementación

La Figura 5.7 presenta la organización propuesta para la implementación del proyecto MCH en Charaña. La Municipalidad de Charaña esta a cargo de la implementación de la totalidad del proyecto, se contrata a consultores/ONG locales para la instalación del sistema generación de eólica y el entrenamiento de operación y mantenimiento. Sin embargo, no existe ninguna experiencia en proyectos de energía eólica en Bolivia. Consultores extranjeros experimentados serán empleados en la fase inicial debido a la limitación de conocimientos y experiencias en proyectos de energía eólica. Se propone el siguiente procedimiento para la implementación:

DUF (fuente del financiamiento)

- Evaluar, aprobar y financiar un proyecto presentado por la municipalidad de Charaña en cooperación con el VMEH

VMEH (Soporte técnico)

- Guiar al DUF en lo que se refiere al soporte técnico en el desarrollo de electrificación rural cuando el DUF evalúa el proyecto aplicado por la municipalidad de Charaña

Charaña Municipalidad (Implementación)

- Dar una guía esquematica del proyecto y las responsabilidades del usuario incluso el pago inicial y cuota mensual para los usuarios locales
- Hacer un acuerdo con el CER/Cooperativa después de recibir el requerimiento del proyecto de electrificación rural
- Preparar el proyecto con el soporte técnico de la prefectura de La Paz y/o consultores/ONG, y solicitar financiamiento del DUF
- Seleccionar una compañía privada o ONG que maneje y dirija la implementación completa del proyecto. (Sin embargo, la municipalidad de Charaña tiene una capacidad limitada para manejar la implementación del proyecto. Consultores/ONG serán empleados por la municipalidad para la provisión de los servicios necesarios tales como la selección de proveedor/operador y ayuda en la provisión y supervisión de todo el proyecto)

Sector Privado/ONG (instalación y entrenamiento para operación y mantenimiento)

- Instalar el sistema y llevar a cabo capacitación para operación y mantenimiento para los beneficiarios y los asistentes técnicos de CER/cooperativa

CER/Cooperativa (beneficiarios)

- Organizar un Comité de Electrificación Rural (CER) o la cooperativa después de recibir la guía esquematica del proyecto y las responsabilidades de los beneficiarios incluso en lo referente al pago inicial y cuota mensual a través de la municipalidad y/o consultores/ONG
- Solicitar el proyecto de electrificación rural y hacer un acuerdo con la municipalidad de Charaña
- Proporcionar la fuerza laboral y algunos materiales preparados en la comunidad en especie en caso de proyectos de energía eólica
- Recibir el entrenamiento para operación y mantenimiento para los beneficiarios y los asistentes técnicos del CER

La Paz Prefectura (soporte técnico o implementación)

- Apoyar a las municipalidades en la preparación del proyecto cuando la municipalidad de Charaña aplica al DUF
- En caso de que un proyecto no sea llevado a cabo a través del DUF, la prefectura de La Paz sera responsable en la aplicación del proyecto con la cooperación del VMEH

(2) Sistema de Operación y Mantenimiento

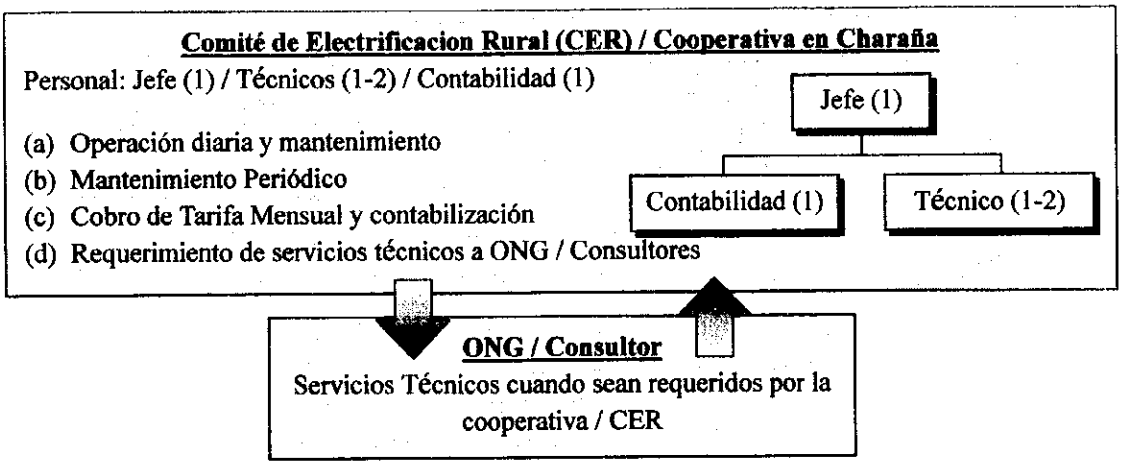
Los cnsultores/firmas de ingeniería locales deben recibir traspaso de tecnología en cuanto a la operación y mantenimiento de consultores extranjeros experimentados y acumular el know-how para la continua operación y mantenimiento de los proyectos de energía eólica. Los técnicos del CER/cooperativa deben ser capacitados en la operación y mantenimiento por los consultores y una compañía de ingeniería que está a cargo de la instalación durante la implementación del proyecto. La operación y mantenimiento propuestos para su conducción por el CER/Cooperativa es a través del siguiente sistema.

a) CER / cooperativa

- ser responsable de la operación diaria y mantenimiento.
- llevar a cabo mantenimiento periódico.
- recolectar tarifa mensual y contabilizarla.
- requerir servicios técnicos de los consultores/ONG

b) ONG / consultores

- Dar servicios técnicos cuando sean requeridos por el CER/cooperativa (bajo un contrato de servicio de mantenimiento)



El técnico de CER tiene que conducir los siguientetes inspección para la operación y mantenimiento.

Daily inspection:	• rotor (sound, rapid inspection) • tower (vibration, inclination, fastening of bolts) • battery (offensive smell, volume of liquid, rapid inspection) • control device (figure of meter, offensive smell, connected parts, rapid inspection) • preparation of daily working report
Periodical inspection (every month):	• battery (voltage, gravity, connected parts) • cleaning of control house (every week) • distribution lines (lines, telegraph pole)
Periodical inspection (every year):	• rotary engine (blade, edge tape, bolts, etc.) • tower (coating, bolts, etc.)

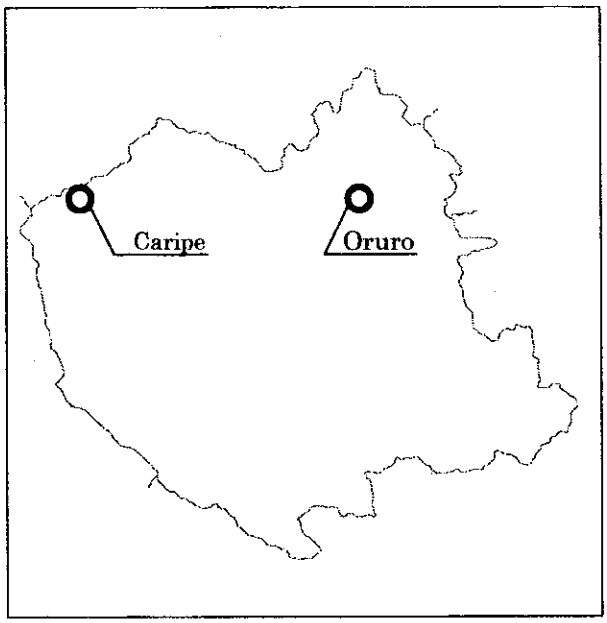
CAPÍTULO 6 ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA EL PROYECTO DE ENERGÍA EÓLICA EN CARIPE – ORURO

6.1 Ubicación y Topografía

Caripe se encuentra ubicado a 272 km. al oeste de la ciudad de Oruro, en el Departamento de Oruro. Mapa de ubicación y fotografía se muestran a continuación. La temperatura en Caripe es baja, ubicada a 4.149 metros sobre el nivel del mar y cerca al monte Sajama de 6.542 metros sobre el nivel del mar. La temperatura promedio anual es de 6.0 °C y una temperatura mínima de –12 °C en Julio. El clima presenta dos estaciones, estación seca y estación de lluvias. La precipitación anual es de alrededor 400 mm en Caripe.

Ubicación

Latitud:	S 18°00'46"
Longitud:	W 68°50'37"
Altitud:	4,149m



Mapa de Ubicación de Caripe

Torre de Monitoreo de Viento de Caripe

6. 2 Condiciones Socioeconómicas y Demanda de Electricidad

6.2.1 Condiciones Socioeconómicas

Información básica de las condiciones socio económicas de Caripe se muestran en la Tabla 6.2

(1) Población

La población de Caripe era de 208 habitantes en 1992, la misma que declino a 206 el 2000 de acuerdo al censo.

(2) Economía Local

La principal actividad económica es la ganadería. Como promedio, existen cerca de 300 cabezas por vivienda, y una población relativamente pudiente.

(3) Electricidad y otras infraestructuras

No existe provisión de electricidad en Caripe. La población usa velas, lamparas de kerosene y lamparas de gas para iluminación. El costo de la energía es entre 10 y 30 bolivianos por mes. Existe una escuela elemental con 28 estudiantes. Esta escuela no tiene provisión de energía eléctrica. No existe una clínica de salud disponible en Caripe.

6.2.2 Demanda de Electricidad

La demanda de electricidad para el proyecto de energía eólica en Caripe se estimo en base a los resultados de encuestas a la comunidad. Puesto que existen facilidades publicas y privadas adicionalmente a las residenciales, la demanda fue estimada por separado para la actividad comercial, servicio publico y vivienda. El año objetivo para la estimación de la demanda fue establecido como el año 2005.

(1) Demanda para uso domiciliar

De acuerdo con los resultados de las encuestas a la comunidad, las viviendas existentes se dividieron en dos tipos, vale decir vivienda pequeña y vivienda grande. Diferentes clases de artefactos eléctricos se encontraron en cada casa de acuerdo al tipo de vivienda, y por lo tanto, el consumo de electricidad fue diferente. De los resultados de la investigación, unidades de consumo eléctrico fueron

estimados para ambas, pequeñas y grandes viviendas como se resume a continuación.

Demanda de Energía por Vivienda

Vivienda		Artefactos Electrico	No.	Potencia (W)	Consumo Electrico (horas/dia)	Energia (kWh/dia)	Total Consumo (kWh/dia)	Consumo Anual (kWh/año)
1	Vivienda	Luz CF	1	12	4	0.048		
	(pequeña)	Luz 60W	2	60	4	0.48		
		Radio	1	15	8	0.12	0.65	260
2	Vivienda	Luz CF	2	12	5	0.12		
	(Grande)	Luz 60W	2	60	3	0.36		
		AM/FM estereo	1	20	4	0.08		
		TV color 19"	1	60	4	0.24		
		Bomba Agua	1	100	3	0.3	1.10	442

Fuente: JICA Study Team

(2) Demanda para uso Comercial

En lo que se refiere a establecimientos comerciales existen restaurantes y tiendas en Caripe. La demanda por electricidad es pequeña en los péquenos restaurante y tiendas. No hay oficinas ni industrias en pequeña escala en Caripe. Las unidades de consumo eléctrico para uso comercial fueron estimadas y se presentan a continuación.

Demanda de Energía para Uso Comercial

Micro-empresa		Artefacto Electrico	No.	Potencia (W)	Consumo Electrico (horas/dia)	Energia (kWh/dia)	Consumo Total (kWh/dia)	Consumo Anual (kWh/año)
1	Café pequeño	Luz CF	2	12	3	0.072		
		Luz 60W	1	60	3	0.18		123
		Radio	1	20	6	0.12	0.41	(300days/year
2	Tienda Pequeña	Luz CF	2	12	3	0.072		
		Luz 60W	2	60	3	0.36		169
		Radio	1	20	4	0.08	0.56	(300days/year

Fuente: JICA Study Team

(3) Demanda para Establecimientos Publicos

Los establecimientos públicos existentes son un centro comunitario, escuela y clínica de salud. La unidades de consumo eléctrico para los establecimientos comerciales fueron estimados y resumidos como sigue.

Demanda de Energía para Establecimientos Públicos

Establecimiento Publico		Artefacto Electrico	No	Energía (W)	Consumo Electrico (horas/día)	Energía (kWh/día)	Total Consumo de Energía (kWh/día)	Consumo Anual de Energía (kWh/día)
1	Centro	Luz CF	4	12	2	0.096		
	Comunitario	Luz 60W	2	60	1	0.12		
	(Pequeño)	TV color 19"	1	60	1	0.06		
		VCR	1	120	1	0.12		129
		Equipo Estereo	1	55	1	0.055	0.50	(260 dias/año)
2	Escuela	Luz CF	12	12	3	0.432		
	(3 aulas)	Luz 60W	4	60	2	0.48		
		TV color 19"	1	60	2	0.12		
		VCR	1	120	1	0.12		305
		Equipo Estereo	1	55	1	0.055	1.33	(230 dias/año)
3	Clinica Salud	Luz CF	5	12	5	0.3		
	(Pequeña)	Luz 60W	3	60	5	0.9		
		VHF radio Stand by	1	2	12	0.024		414
		VHF radio	1	30	1	0.03	1.38	(300 dias/año)

Fuente: JICA Study Team

(4) Demanda Total Estimada

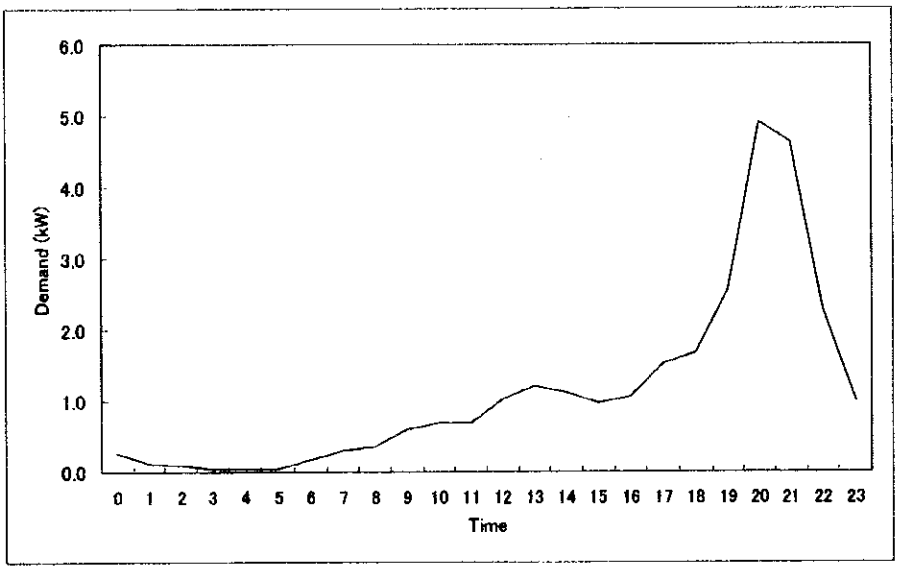
Para estimar el total de la demanda eléctrica, se proyecto la cantidad de establecimientos en consideración al desarrollo futuro del área del proyecto.

Los datos proyectados para los establecimientos son:

Item		Numero
Viviendas	Grande	3
	Pequeña	27
Café	Pequeño	3
Tienda	Pequeña	2
Centro Comunitario	Pequeño	1
Escuela	Pequeña	1
Clinica de Salud	Pequeña	1

Fuente: JICA Study Team

Basados en los datos anteriores se calculó el total de la demanda de electricidad. La curva de la demanda diaria de energía se estimo como se ve en la siguiente figura. La demanda pico es de alrededor 4.9 kW, que sucede entre las 20:00 y 21:00



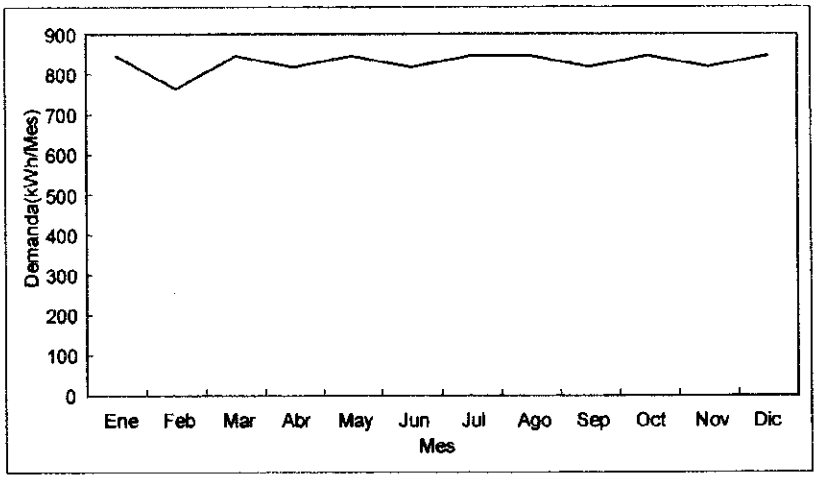
Curva de Demanda Diaria de Energía

La demanda de energía mensual fue tambien calculada como se presenta en la tabla siguiente y su figura. Como se señala, la demanda anual de electricidad se estimo en 9.95 kWh

Demanda Mensual de Energía de Caripe

Mes	Demanda kWh/Mes
Ene	845
Feb	763
Mar	845
Abr	818
May	845
Jun	818
Jul	845
Ago	845
Sep	818
Oct	845
Nov	818
Dic	845
Total	9,951

Fuente: JICA Study Team

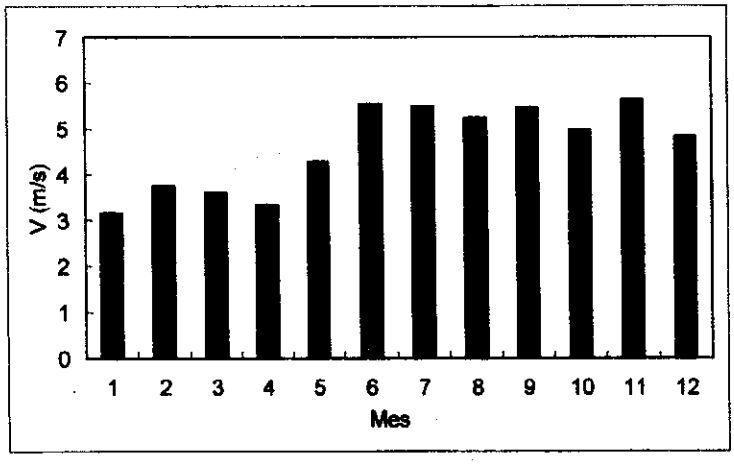


Curva de Demanda Anual Estimada

6.3 Análisis de Información Eólica

6.3.1 Análisis de Información de Vientos

Los promedios de velocidad del viento mensual y diaria a 20 metros sobre el nivel de la tierra se muestran en el siguiente cuadro. El promedio anual de velocidad de viento en Caripe es de 4.71 m/s, mientras que el promedio mensual de Enero a Agosto es bajo 3.6 m/s. Esto indica que existe una variación de mes a mes.



Promedio Mensual de Velocidad del Viento (m/s)

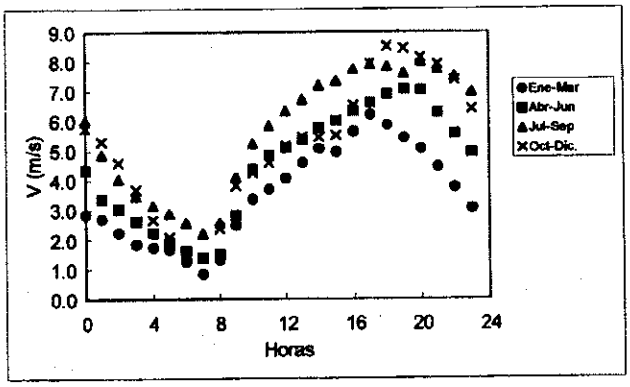
Promedio Mensual de Velocidad del Viento (m/s)

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Promedio Velocidad(m/s)	3.2	3.8	3.6	3.3	4.3	5.7	5.5	5.2	6.3	5.0	5.8	4.8

Fuente: JICA Study Team

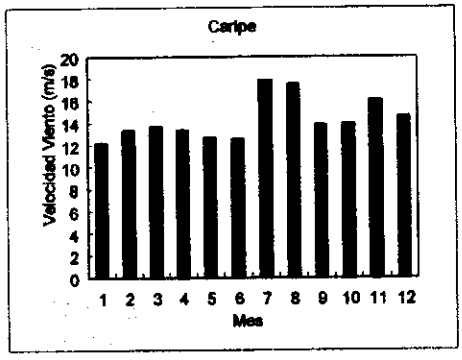
De acuerdo a la matriz de velocidad diaria, el viento sopla entre las 12:00 y las 22:00 cuando la demanda de electricidad es alta. Por otra parte, el viento sopla muy débilmente para la generación de energía entre las 4:00 y las 8:00.

Considerando la matriz del viento en Caripe, un sistema híbrido de generación eléctrica con otra fuente de energía será necesario para la provisión de energía estable.



Promedio Diario de Velocidad de Viento (m/s)

En Caripe la velocidad máxima mensual de viento en un promedio de 10 minutos sobre un nivel de 20 metros sobre el nivel de tierra, se muestran a continuación. El promedio anual de la velocidad máxima de viento es de 14.5 m/s. Los resultados señalan que no hay vientos extraordinariamente fuertes tales como tifones o huracanes.



Velocidad Máxima Mensual (m/s)