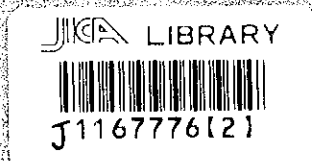


AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON  
VICE MINISTERIO DE ENERGIA E HIDROCARBUROS  
REPUBLICA DE BOLIVIA

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

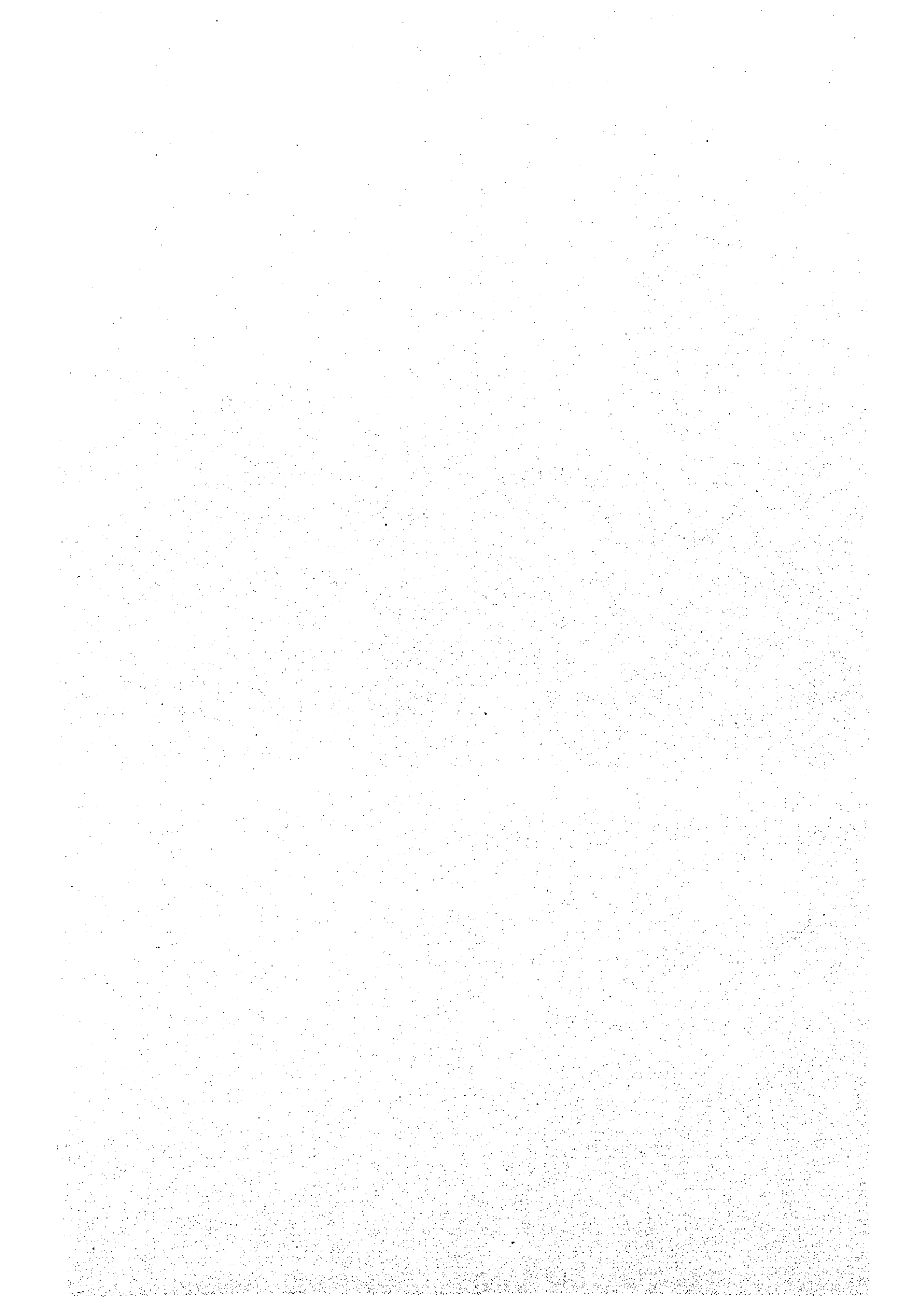
**INFORME PRINCIPAL**



**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 PRINCIPAL**

**SEPTIEMBRE 2001**

**KRI INTERNATIONAL CORP.  
NIPPON KOEI CO., LTD.**

**Tasa de Cambio**

(mayo de 2001)

US\$1 = ¥120.5

US\$1 = Bs 6.53

Bs 1 = ¥18.5



1167776[2]

## PROLOGO

En respuesta a una solicitud del Gobierno de la República de Bolivia, el Gobierno del Japón ha desidió llevar a cabo un Estudio Sobre el Plan de Implementación de la Electrificación Rural con Energía Renovable en la República de Bolivia, y el estudio fue hecho por la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA).

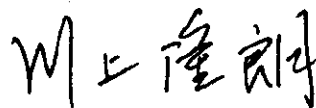
JICA envió un equipo del estudio, encabezado por el Sr. Toshikazu Tai del KRI International Corp., a la República de Bolivia seis veces desde agosto 1999 hasta septiembre del 2001.

El equipo discutió con los oficiales pertinentes del Gobierno de la República de Bolivia, y llevo a cabo las encuetas de campo relacionadas. Después de regresar al Japón, el equipo hizo otros estudios y compilo los resultados finales del informe.

Espero que este informe contribuya a la promoción del electrificación rural y a un mayor acercamiento amistoso entre nuestrois dos países.

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos a los oficiales del Gobierno de la República de Bolivia por su cercana cooperación través del estudio.

Septiembre 2001



Takao Kawakami

Presidente

Agencia de Cooperación Internacional Japonesa



Septiembre del 2001

Sr. Takao Kawakami  
Presidente  
Agencia Japonesa de Cooperación Internacional  
Tokio, Japón

Estimado Sr. Kawakami

### **Carta de Transferencia**

Por la presente estamos contentos de hacerle entrega del Informe Final del "Estudio Sobre el Plan de Implementación de la Electrificación Rural con Energía Renovable en la República de Bolivia". Bajo el contrato con su apreciada organización, el tema del estudio se llevo a cabo en el transcurso de un periodo de 27 meses desde Julio de 1999.

Al llevar a cabo este estudio, el equipo del estudio ha preparado el plan de electrificación rural siguiendo los lineamientos gubernamentales en cuanto a política de energía y transferido la tecnología de desarrollo de energía renovable, con las debidas consideraciones de la actual situación del demanda/oferta de energía y la socio-economía.

Este informe contiene el plan de electrificación rural de la República de Bolivia. También están reflejados los comentarios de los oficiales en instituciones vinculadas a la energía a través de las discusiones con el Grupo de Coordinación, seminarios y reuniones de equipo con la contraparte llevadas a cabo durante el periodo del estudio en Bolivia.

Deseamos tomar esta oportunidad para expresar nuestros sinceros agradecimientos a los oficiales involucrados del JICA, del Ministerio de Relaciones Exteriores, y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria. También deseamos expresar nuestro agradecimiento al Vice Ministerio de Energía e Hidrocarburo, la Oficina del JICA en Bolivia y la Embajada del Japón en Bolivia por su cercana cooperación y asistencia otorgada durante este periodo.

Atentamente,

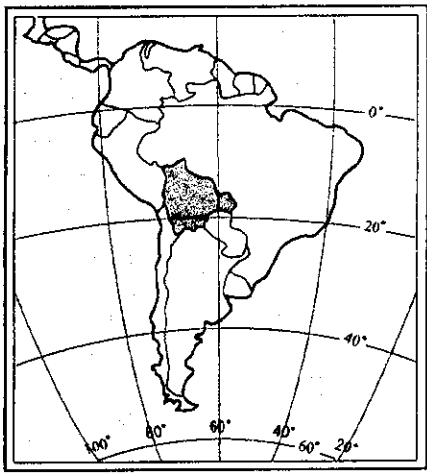


Toshikazu Tai

Líder del Equipo

Estudio Sobre el Plan de Implementación de la  
Electrificación Rural con Energía Renovable en la  
República de Bolivia

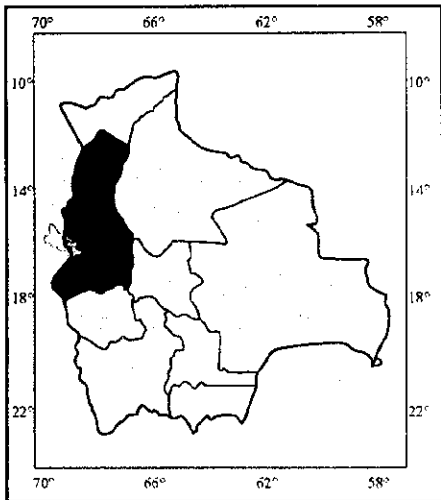
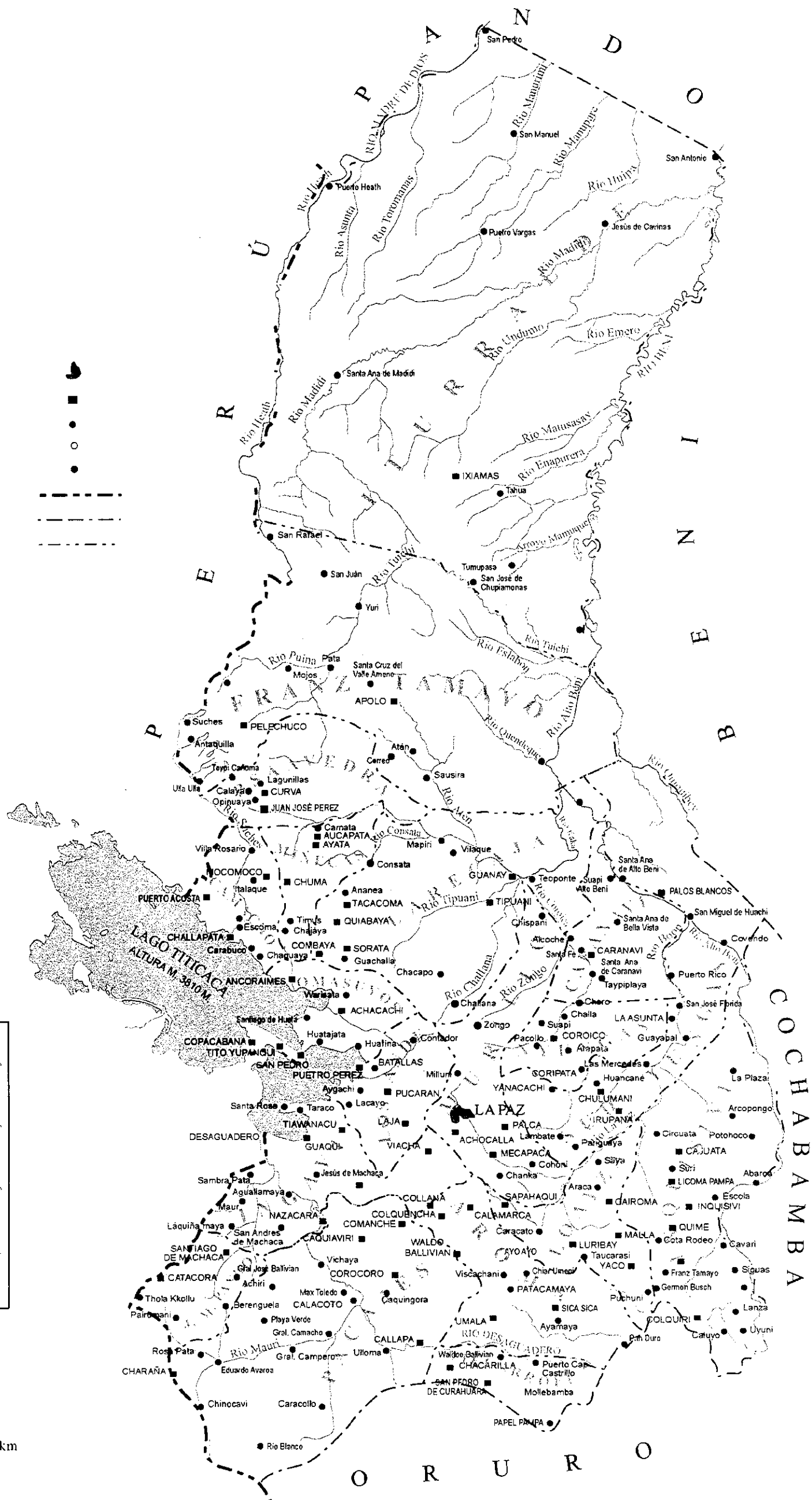
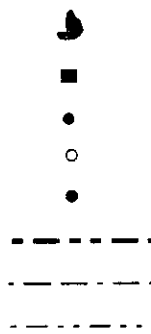
# Location Map, La Paz



South America

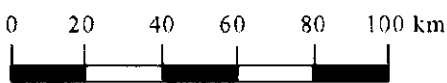
## REFERENCE

- Capital of Department
- Capital of Province
- Capital of Sección
- Cantón
- Major City/Town
- International Border
- Department Border
- Province Border



Bolivia

Scale: 1: 2,000,000





# Location Map, Oruro

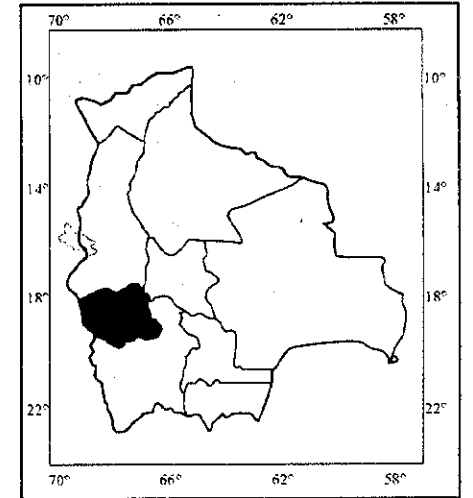


South America



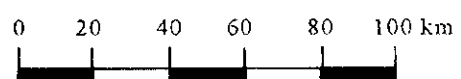
**REFERENCE**

- Capital of Department
- Capital of Province
- Capital of Sección
- Cantón
- Major City/Town
- International Border
- Department Border
- Province Border



Bolivia

Scale: 1: 1,209,000





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

**INFORME PRINCIPAL**

**CONTENIDO**

	<u>Página</u>
<b>MAPA DE UBICACIÓN</b>	
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>I-1</b>
1.1 Antecedentes del estudio .....	I-1
1.2 Objetivos del Estudio .....	I-1
1.3 Necesidad e Importancia de la Electrificación Rural y Area Objetivo de Estudio.....	I-2
1.4 Organización del estudio, Investigación y Estudio Ejecutado .....	I-2
1.4.1 Organización del Estudio .....	I-2
1.4.2 Investigación de campo y estudio ejecutado .....	I-3
<b>CAPÍTULO 2 INDUSTRIA ELÉCTRICA EN BOLIVIA .....</b>	<b>II-1</b>
2.1 Marco Legal.....	II-1
2.2 Entes Gubernamentales y Regulatorios.....	II-3
2.3 Sistema Nacional de Provisión Eléctrica.....	II-6
2.3.1 Sistema Nacional .....	II-6
2.3.2 Estructura de la Provisión de Energía.....	II-7
2.3.3 Costo de energía, tarifa y consumo.....	II-10
<b>CAPÍTULO 3 ELECTRIFICACION RURAL EN BOLIVIA .....</b>	<b>III-1</b>
3.1 Política del VMEH.....	III-1
3.2 Progreso del PRONER.....	III-2
3.3 Inversión en Electrificación Rural .....	III-2
3.4 Organizaciones relacionadas con la Electrificación Rural .....	III-3
3.4.1 Gobiernos Locales, Compañías de transmisión y de distribución.....	III-3

3.4.2	Organizaciones de financiamiento .....	III-7
3.5	Actividades de los Organismos Internacionales .....	III-8
3.5.1	Asistencia Multilateral .....	III-8
3.5.2	Asistencia Bilateral .....	III-9
<b>CAPÍTULO 4 ELECTRIFICACION RURAL EN LA PAZ Y ORURO.....</b>		<b>IV-1</b>
4.1	Indicadores socio-económicos .....	IV-1
4.2	Tendencia de la Electrificación Rural e Inversión .....	IV-3
4.3	Situación Actual de la Electrificación Rural.....	IV-4
4.3.1	Extensión de la Red.....	IV-4
4.3.2	Uso de la Energía Renovable .....	IV-5
4.4	Hogares Meta y Demanda Potencial para la Electrificación Rural .....	IV-6
4.4.1	Hogares meta y Electrificación Rural .....	IV-6
4.4.2	Demanda Potencial de Electricidad .....	IV-7
4.5	Implementación de la Organización y Organización para la OM....	IV-9
4.5.1	Implementación de la Organización.....	IV-9
4.5.2	Organización para la Operación y Mantenimiento .....	IV-10
<b>CAPÍTULO 5 RESUMEN DEL PROYECTO PILOTO FV.....</b>		<b>V-1</b>
5.1	Investigación y Estudio Ejecutados .....	V-1
5.2	Instalación del Proyecto Piloto de FV.....	V-1
5.2.1	Selección de los Sitios del Proyecto Piloto .....	V-1
5.2.2	Componentes del Sistema FV .....	V-2
5.2.3	Instalación del Sistema FV.....	V-4
5.3	Sistema de Operación y Mantenimiento .....	V-5
5.3.1	Organización de la Operación y Mantenimiento.....	V-5
5.3.2	Guía del Usuario y Capacitación.....	V-5
5.3.3	Manual de Mantenimiento y Capacitación .....	V-6
5.4	Tarifa de energía.....	V-6
5.4.1	Esquema Original.....	V-6
5.4.2	Programa de Pago Modificado.....	V-7
5.5	Monitoreo y Análisis.....	V-8
5.5.1	Monitoreo de la Operación y Mantenimiento .....	V-8
5.5.2	Monitoreo de Usuarios .....	V-11
5.6	Evaluación Técnica del Sistema F .....	V-15
5.6.1	Problemas Técnicos y Soluciones.....	V-15
5.6.2	Comentarios a la Capacidad del Sistema .....	V-16
5.7	Evaluación del sistema de OM.....	V-17
5.7.1	Evaluación y Desempeño.....	V-17

5.7.2	Mejoras Propuestas .....	V-18
5.8	Disposición de las Baterías Usadas.....	V-19

## **CAPÍTULO 6 RESUMEN DEL ESTUDIO DE ENERGÍA DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS..... VI-1**

6.1	Investigación y Estudio Realizados .....	VI-1
6.2	Selección de los Proyectos Propuestos para su Estudio de Pre- factibilidad .....	VI-2
6.3	Estudio de pre-factibilidad en el proyecto de pequeña central hidroeléctrica de Apolo en La Paz .....	VI-2
6.3.1	Ubicación, Topografía, Meteorología e Hidrología .....	VI-2
6.3.2	Condiciones socio-económicas y demanda de electricidad .....	VI-4
6.3.3	Formulación del Esquema Óptimo de Desarrollo.....	VI-7
6.3.4	Diseño preliminar y Costo Estimado .....	VI-9
6.3.5	Programa de construcción.....	VI-10
6.3.6	Justificación económica y Financiera .....	VI-11
6.3.7	Evaluación Medioambiental Inicial .....	VI-14
6.4	Estudio de Pre-factibilidad del Proyecto de pequeña central hidroeléctrica de Tambo Quemado en Oruro.....	VI-15
6.4.1	Ubicación, Topografía, Meteorología e Hidrología .....	VI-15
6.4.2	Condiciones socio-económicas y demanda de electricidad .....	VI-17
6.4.3	Formulación del Esquema Óptimo de Desarrollo.....	VI-19
6.4.4	Diseño Preliminar y Estimación de Costo .....	VI-21
6.4.5	Programa de Construcción .....	VI-22
6.4.6	Justificación Económica y Financiera.....	VI-22
6.4.7	Evaluación Inicial de Medio Ambiente.....	VI-27

## **CAPÍTULO 7 RESUMEN DEL ESTUDIO DE ENERGÍA EÓLICA..... VII-1**

7.1	Investigación y Estudio Realizado .....	VII-1
7.2	Instalación del Sistema de Monitoreo de Viento .....	VII-1
7.2.1	Criterios de Selección .....	VII-2
7.2.2	Lugares Seleccionados .....	VII-2
7.2.3	Instalación y Monitoreo .....	VII-3
7.3	Análisis de los datos Recolectados .....	VII-3
7.3.1	Promedio Mensual de la Velocidad del Viento .....	VII-4
7.3.2	Velocidad del viento diurna.....	VII-5
7.4	Selección de los Proyectos Propuestos para el Estudio de Pre-factibilidad.....	VII-6

7.5	Estudio de Pre-factibilidad sobre los Proyectos de Energía Eólica:	
	Charaña, Caripe y Chachacomani.....	VII-7
7.5.1	Ubicación y condición socio-económica .....	VII-7
7.5.2	Demanda de electricidad.....	VII-8
7.5.3	Análisis de los datos del viento.....	VII-9
7.5.4	Formulación del Esquema Óptimo de Desarrollo.....	VII-11
7.5.5	Diseño Preliminar y Costo Estimado .....	VII-13
7.5.6	Justificación económica y Financiera .....	VII-16
7.5.7	Evaluación medioambiental inicial .....	VII-22

## **CAPÍTULO 8 PLAN DE ELECTRIFICACIÓN RURAL MEDIANTE ENERGÍA RENOVABLE EN LA PAZ Y ORURO**

	(2002-2011).....	VIII-1
8.1	Fuentes de Energía Renovable y Evaluación.....	VIII-1
8.1.1	Fuentes Meta de Energía Renovable.....	VIII-1
8.1.2	Recursos potenciales de energía.....	VIII-2
8.1.3	Costo Comparativo de las Fuentes de Energía Renovable .....	VIII-4
8.2	Metodología del Plan de Electrificación Rural .....	VIII-6
8.2.1	Política del VMEH.....	VIII-6
8.2.2	Inversión en Electrificación Rural .....	VIII-7
8.2.3	Formulación del Plan de Desarrollo de Energía Renovable y Extensión de Red .....	VIII-8
8.3	Plan de Electrificación Rural (2002-2011) .....	VIII-10
8.3.1	Plan de Desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas .....	VIII-10
8.3.2	Plan de Desarrollo de Energía Eólica.....	VIII-12
8.3.3	Plan de Desarrollo de Sistema FV .....	VIII-15
8.3.4	Plan de extensión de Red de Líneas.....	VIII-17
8.3.5	proyección global de electrificación Rural .....	VIII-20
8.3.6	Comparación y Revisión del Plan Propuesto .....	VIII-26
8.4	Estructura de implementación.....	VIII-29
8.4.1	Organización de la implementación.....	VIII-29
8.4.2	Sistema de Operación y Mantenimiento .....	VIII-32
8.5	Arreglos de Financiamiento para Electrificación Rural.....	VIII-34
8.5.1	Estimación de Requerimiento de Fondos.....	VIII-34
8.5.2	Plan de Arreglos para el Financiamiento .....	VIII-36

<b>CAPÍTULO 9 APOYO INSTITUCIONAL PARA PROMOVER LA ELECTRIFICACIÓN RURAL USANDO ENERGÍA RENOVABLE.....</b>	<b>IX-1</b>
9.1 Planificando el mejoramiento de la capacidad .....	IX-1
9.1.1 Situación Actual .....	IX-1
9.1.2 Programas para el Mejoramiento .....	IX-2
9.2 Coordinación mejorada con los Gobiernos Locales y el Sector Privado .....	IX-4
9.2.1 Situación actual .....	IX-4
9.2.2 Programas para el Mejoramiento .....	IX-5
9.3 Investigación y Capacitación.....	IX-7
9.3.1 Situación actual .....	IX-7
9.3.2 Programa de Mejoramiento.....	IX-7
9.4 Apoyo financiero .....	IX-8
9.4.1 Situación actual .....	IX-8
9.4.2 Programa de Mejoramiento.....	IX-8
9.5 Apoyo Institucional para Medio Ambiente.....	IX -10
9.5.1 Metodología para Calcular el Impacto del Medio Ambiente.....	IX -10
9.5.2 Estimación de la Reducción de la Cantidad del CO <sub>2</sub> .....	IX -11
9.5.3 Fondo de Carbono de Prototipo (PCF) .....	IX -13
<b>CAPÍTULO 10 CONCLUSION Y RECOMENDACIÓN.....</b>	<b>X-1</b>
10.1 Recomendación sobre asuntos técnicos .....	X-1
10.2 Recomendaciones sobre el Fortalecimiento Institucional.....	X-2

#### **ANEXO 1**

**Miembro de Grupo de Cordinación, Grupo de Trabajo y Equipo del Estudio JICA**

### Lista de Tabla

Tabla 4.1	Inventario de las Micro Centrales Hidroelectricas en La Paz Y oruro .....	T-1
Tabla 6.1	Costo de Construcción de Obras Civiles, Eléctricas y Mecánicas de la MCH de Apolo (Detalles para Pre-F/S) .....	T-2
Tabla 6.2	TIR (Taza Economica Interna de Retorno) para Proyecto del Proyecto MCH en Apolo (La Paz) .....	T-5
Tabla 6.3	Costo de Construcción de Obras Civiles, Eléctricas y Mecánicas de la MCH de Tambo Quemado (Detalles para Pre-F/S) .....	T-6
Tabla 6.4	TIR (Taza Economica Interna de Retorno) para Proyecto del Proyecto MCH en Tambo Quemado (Oruro) .....	T-9
Tabla 7.1	Tasa Economica Interna de Retorno para Proyecto de Energia Eolica en Charana, La Paz .....	T-10
Tabla 7.2	Tasa Economica Interna de Retorno para Proyecto de Energia Eolica en Caripe, Oruro .....	T-11
Tabla 7.3	Tasa Economica Interna de Retorno para Proyecto de Energia Eolica en Chachacomani, Oruro .....	T-12
Tabla 8.1	Cost Economico de Extension de Red .....	T-13
Tabla 8.2	Cost Economico de Sistema FV (SHS) .....	T-18
Tabla 8.3	Cost Economico de Micro-Central Hidroelectrica .....	T-20
Tabla 8.4	Cost Economico de Energia Eolica .....	T-22
Tabla 8.5	Cost Economico de Generador de Diesel .....	T-24
Tabla 8.6	Proyectos Prioritarios de Micro Centrales Hidroelectricas en La Paz Y Oruro (Plan 2002-2011) .....	T-26
Tabla 8.7	Selección de Proyectos Prioritarios de Energía Eólica .....	T-27
Tabla 8.8	Numero de Beneficiarios Nuevos por Fuente de Energia .....	T-28
Tabla 8.9	Tasa de Electrificacion Rural en La Paz Y Oruro (%) .....	T-29
Tabla 8.10	Inversion Annual Total para Electrificacion Rural por Fuente de Energia (US\$) .....	T-30
Tabla 8.11	Numero de Beneficiarios Total por Fuente de Energia, La Paz .....	T-31
Tabla 8.12	Numero de Beneficiarios Total por Fuente de Energia, Oruro .....	T-32
Tabla 8.13	Consumo de Electricidad Calculada por Fuente de Energia, La Paz (kWh) .....	T-33



Tabla 8.14 Consumo de Electricidad Calculada por Fuente de Energia, Oruro (kWh)..... T-34

### Lista de Figura

Figura 2.1	Organización de Viceministerio de Energía e Hidrocarburos (VMEH) .....	F-1
Figura 4.1	Lineas de Transmision (La Paz) (as of Eary 2001).....	F-2
Figura 4.2	Lineas de Transmision (Oruro) ) (as of Eary 2001).....	F-3
Figura 6.1	Área de captación de la Estación W.L. del Río Turiapu y Propuesta de Lugar de Toma de la MCH en el Río Machariapu en Apolo .....	F-4
Figura 6.2	Plano de la MCH de Apolo (Río Machariapu) .....	F-5
Figura 6.3	Programa de Implementación Propuesto para el Proyecto de la MCH de Apolo .....	F-6
Figura 6.4	Área de Captación de la Estación W.L. del Río Jaruma y Propuesta del Lugar de Toma de la MCH en Tambo Quemado .....	F-7
Figura 6.5	Plano de la MCH de Tambo Quemado .....	F-8
Figura 6.6	Programa de Implementación Propuesto para el Proyecto de la MCH de Tambo Quemado.....	F-9
Figura 7.1	Sitio para el Sistema Monitoreo de Viento en La Paz.....	F-10
Figura 7.2	Sitio para el Sistema Monitoreo de Viento en Oruro .....	F-10
Figura 7.3	Wind-PV Hybrid System in Charana, La Paz Department .....	F-11
Figura 7.4	Installation Map of Wind-PV Hybrid Generation System in Charana, La Paz Department .....	F-12
Figura 7.5	Wind-PV Hybrid System in Caripe, Oruro Department .....	F-13
Figura 7.6	Installation Map of Wind-PV Hybrid Generation System in Caripe, Oruro Department.....	F-14
Figura 7.7	Wind-Micro Hydro Hybrid System in Chachacomani, Oruro Department .....	F-15
Figura 7.8	Installation Map of Wind-Micro-Hydro Hybrid Generation System in Chachacomani, Oruro Department.....	F-16
Figura 8.1	Mapa de Micro-Centrales Hidroelectricas Potencial (La Paz)	F-17
Figura 8.2	Mapa de Micro-Centrales Hidroelectricas Potencial (Oruro).	F-18
Figura 8.3	Mapa de Energia Eolica Potencial, La Paz .....	F-19
Figura 8.4	Mapa de Energia Eolica Potencial, Oruro .....	F-20
Figura 8.5	Mapa de Energia Fotovoltaico Potencial, La Paz .....	F-21
Figura 8.6	Mapa de Energia Fotovoltaico Potencial, Oruro .....	F-22

Figura 8.7	Proyectos Prioritarios Seleccionados de Micro Centrales Hidroelectricas (2002-2006, 2007-2011) (La Paz).....	F-23
Figura 8.8	Proyectos Prioritarios Seleccionados de Micro Centrales Hidroelectricas (2002-2006, 2007-2011) (Oruro).....	F-24
Figura 8.9	Proyectos Prioritarios Seleccionados de Energia Eolica, La Paz .....	F-25
Figura 8.10	Proyectos Prioritarios Seleccionados de Energia Eolica, Oruro .....	F-26
Figura 8.11	Plan Proyectado de Extension de Red de Linea para 2006, La Paz .....	F-27
Figura 8.12	Plan Proyectado de Extension de Red de Linea para 2006, Oruro.....	F-28
Figura 8.13	Plan Proyectado de Extension de Red de Linea para 2011, La Paz .....	F-29
Figura 8.14	Plan Proyectado de Extension de Red de Linea para 2011, Oruro.....	F-30
Figura 8.15	Implementación del Proyecto para el Proyecto de Energia Renovables.....	F-31
Figura 9.1	Organizacion de Unidad de Desarrollo para Electrificación Rural.....	F-32
Figura 9.2	Fortalecimiento del Personal de la UDE .....	F-33
Figura 9.3	Consejo Nacional para la Electrificación Rural .....	F-34
Figura 9.4	Reuniones Regulares con el Gobierno Local Organizada por el Personal del VMEH.....	F-35

**APÉNDICE I Y II:**

- I. Proyecto Piloto FV y Monitoreo
- II. Estudio de Pre Factibilidad de un Proyecto de Pequeñas  
Centrales Hidroeléctricas

**APÉNDICE III Y IV:**

- III. Estudio de pre factibilidad para Proyectos de Energía Eólica
- IV. Report on Technology Transfer

## 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 Hidraulica 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 Minería
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
CO <sub>2</sub>	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	Photovoltaic
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
m <sup>3</sup> /s	cubic meter per second
mm <sup>2</sup>	square millimeter
km <sup>2</sup>	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	Hertz
RPM	Revolution (revs) per minute
%	percentage

**(6) Currency**

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





## **CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes del estudio**

La tasa global de electrificación en Bolivia era de 45,8% en 1997. La tasa rural de electrificación era ligeramente menor a 13,7%, que es el nivel más bajo incluso entre los países en vías de desarrollo.

Ante este problema, el Viceministerio de Energía e Hidrocarburos (VMEH), el ente nacional de gobierno responsable de definir la política energética y su estrategia en Bolivia, preparó un programa nacional de electrificación (PRONER) en 1998 y comenzó su implementación para facilitar la electrificación rural. El PRONER en su primera fase prevé electrificar 110.000 hogares adicionales hasta el año 2002 mediante la inversión de \$103 millones y planea incrementar la tasa rural de electrificación hasta 28%. Dentro del plan, se recomienda el uso de energía renovable, incluyendo energía solar, micro-hidro y eólica.

Bajo estas circunstancias, el Gobierno de Bolivia solicitó la asistencia técnica del Gobierno Japonés para conducir el estudio de electrificación rural mediante energía renovable. En respuesta a tal solicitud, el gobierno Japonés dispuso un equipo de estudio para la formulación del proyecto en Octubre de 1998, en el cual se confirmaron las necesidades para el desarrollo del estudio. En adelante, un equipo de investigación preliminar visitó Bolivia para discutir los detalles del estudio en Enero de 1999 y acordó el enfoque del trabajo para el estudio con el Gobierno de Bolivia.

### **1.2 Objetivos del Estudio**

Los objetivos del estudio son los de formular el Plan de Electrificación Rural mediante Energía Renovable en La Paz y Oruro. El plan a ser formulado comprende el período 2002-2011 y espera promover la electrificación rural manteniendo un equilibrio entre la generación de energía mediante energía renovable y la extensión de la red de líneas. Tanto las condiciones de ejecución como el sistema de implementación propuesto deben ser especificados en el estudio.

La transferencia de tecnología al equipo de contraparte boliviano es otro importante objetivo del estudio, la misma que incluye tecnología de energías renovables, su

operación y administración y su planificación. Se espera que el traspaso de tecnología promueva la explotación e energía renovable en Bolivia una vez concluido el estudio de JICA.

### **1.3 Necesidad e Importancia de la Electrificación Rural y Area Objetivo de Estudio**

Los objetivos de la electrificación rural no solo son el de proveer de electricidad, sino también jugar un rol importante en la implementación de un desarrollo rural integrado para enfrentar la reducción de la pobreza en el área rural. El impulso en la electrificación rural se propone con el objetivo de contribuir en el mejoramiento de las necesidades humanas básicas como: trabajo, alimentación, servicios de salud, educación, vivienda, agua potable y saneamiento ambos en cantidad y calidad.

Así el área de estudio fue fijada en los departamentos de La Paz y Oruro debido al ambiente natural? y social? y una mayor eficiencia en el estudio de campo?, tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

- Ambos departamentos tienen un alto potencial para el desarrollo de energía renovable que incluye energía solar, energía hídrica y energía eólica.
- Una gran parte de ambos departamentos no cuenta con electrificación, se encuentran en una de las áreas más pobres como el área poco fértil denominada "Altiplano", el área montañosa y el área de la selva Amazonica.
- Se consideró la accesibilidad de las áreas señaladas para el proyecto piloto FV, el monitoreo eólico y observación de la descarga hídrica.

### **1.4 Organización del estudio, Investigación y Estudio Ejecutado**

#### **1.4.1 Organización del Estudio**

El estudio fue encomendado a KRI International Corp. en asociación con Nippon Koei Co., Ltda. en Julio de 1999. El equipo de Estudio (Equipo de estudio de JICA) integrado por seis expertos, fue diseñado para realizar un trabajo de campo e investigaciones. La lista de miembros del equipo de estudio se presenta en el Anexo 1.

Para la eficiente implementación del estudio, se organizó un Grupo de Coordinación compuesto por representantes del VMEH y de las Prefecturas de La Paz y Oruro.

Adicionalmente, también se estableció un Grupo de Trabajo integrado por el personal de contraparte de las instituciones locales para llevar a cabo un estudio conjunto y para garantizar el éxito del traspaso de tecnología. La lista de Miembros del Grupo de Coordinación y del Grupo de Trabajo se presenta en el Anexo 1.

#### **1.4.2 Investigación de campo y estudio ejecutado**

##### **(1) Primera Investigación de Campo**

El Equipo de Estudio de JICA comenzó la primera investigación de campo el 7 de Agosto de 1999 y continuo su trabajo de investigación hasta el 20 de Septiembre de 1999. La presentación del Reporte Inicial y su exposición fue realizada ante el VMEH y otras instituciones relacionadas al estudio. Los principales puntos de la primera investigación de campo relacionada con el desarrollo de la energía renovable son:

- 1) Sistema FV
  - Selección de los lugares para los proyectos piloto de FV
  - Investigación socio-económica en los lugares de los proyectos piloto
- 2) Energía Micro hidráulica.
  - Observación de descargas e instalación de reglas de medición
- 3) Energía Eólica
  - Selección de sitios para sistemas de monitoreo eólico

##### **(2) Segunda Investigación de Campo**

La Segunda investigación de campo fue llevada a cabo entre el 5 de Enero y el 12 de Febrero de 2000. En esta investigación, se llevó a cabo el primer seminario en La Paz invitando a representantes del VEMH, Prefecturas de La Paz y Oruro, y otras instituciones públicas y privadas vinculadas al tema.

Los principales puntos de la segunda investigación de campo sobre energía renovable son:

- 1) Sistema FV
  - Instalación de sistemas FV en La Paz y Oruro
  - Guía para la operación y mantenimiento
  - Formulación de la organización para la operación y mantenimiento
- 2) Energía Micro Hidráulica
  - Observación de los niveles de agua y descarga
- 3) Energía Eólica
  - Instalación de 10 sistemas de monitoreo de viento
  - Recolección y monitoreo de datos

Después de la Segunda investigación, se elaboró el Informe de Avance(1) en Tokio resumiendo el avance de la investigación y el alcance del estudio hasta entonces.

### **(3) Tercera Investigación de Campo**

La Tercera Investigación de Campo se realizó entre el 15 de mayo y el 14 de Julio de 2000. La presentación del Informe de Avance(1) se realizó ante el VMEH y las Prefecturas de La Paz y Oruro en esta etapa de la investigación. Además, se realizó el Segundo seminario de esta etapa en , invitando a representantes del VMEH, las Prefecturas de La Paz y Oruro y otras instituciones públicas y privadas involucradas en el tema.

Los principales puntos de la tercera investigación de campo son:

- 1) Sistema FV
  - Revisión del sistema de operación y mantenimiento
  - Monitoreo de los sistemas FV y sus usuarios
- 2) Energía Micro Hidráulica
  - Investigación de campo en los lugares tentativos
  - Selección de los primeros sitios (2) para el estudio de pre-factibilidad
- 3) Energía Eólica
  - Reemplazo de las tarjetas SIM
  - Monitoreo y recolección de datos

Durante la tercera investigación de campo, el VMEH sugirió realizar el estudio topográfico en los sitios propuestos de energía micro-hidro previamente. Se dispuso que un experto de JICA visite los lugares propuestos en Septiembre de 2000 para supervisar el estudio topográfico subcontratado. Después de la tercera investigación de campo, se elaboró el Informe de Avance(2) en Tokio, compilando los datos e información adicional recolectados, mismo que fue traído a Bolivia en la cuarta investigación de campo para su presentación.

#### **(4) Cuarta Investigación de Campo**

La cuarta investigación de campo comenzó el 5 de enero de 2001 y duró hasta el 15 de febrero de 2001. Los principales puntos de la cuarta investigación de campo relacionada con energía renovable son:

- 1) Sistema FV
  - Monitoreo constante del proyecto piloto
- 2) Energía Micro hidráulica.
  - Revisión de los resultados del estudio topográfico
  - Estudio de ingeniería en los 2 sitios propuestos
- 3) Energía Eólica
  - Monitoreo constante del sistema de monitoreo de viento
  - Selección de los tres primeros sitios (3 en La Paz y 3 en Oruro)

Tanto los resultados de la cuarta investigación de campo como el estudio y los resultados de investigaciones anteriores fueron compilados en el Informe Intermedio en Tokio.

#### **(5) Quinta Investigación de Campo**

La quinta investigación de campo se realizó entre el 10 de mayo de 2001 y el 8 de Junio de 2001. La presentación del Informe Intermedio (*Interim Report*) se realizó ante el VMEH y las Prefecturas de La Paz y Oruro al inicio de esta etapa.

Los principales aspectos de la quinta investigación de campo relacionados con energía eléctrica son:

- 1) **Sistemas FV**
  - Monitoreo y evaluación del proyecto FV piloto
  - Preparación para la transferencia de equipos y la administración del proyecto piloto
  
- 2) **Energía Micro hidráulica**
  - Selección de proyectos prioritarios
  - Investigación adicional y recolección de datos para los 2 proyectos seleccionados
  - IEE en los 2 proyectos propuestos
  
- 3) **Viento**
  - Selección de los proyectos prioritarios
  - Reemplazo de sistemas de monitoreo de viento
  - IEE en los 2 proyectos propuestos

Incorporación de los resultados de investigaciones de campo previas y el estudio, el Informe Final en Borrador fue preparado en Tokio para ser traído a Bolivia para su explicación y discusión.

#### **(6) Sexta Investigación de Campo**

La Sexta investigación de campo será llevada a cabo entre el 27 de agosto y el 7 de septiembre de 2001. La presentación del Borrador del Informe Final será realizada ante el VMEH y la Prefectura de La Paz y Oruro. Además, un seminario (el tercero) será llevado a cabo invitando a todas las organizaciones públicas y privadas relacionadas con la electrificación rural además de organizaciones multilaterales y bilaterales.

Todos los comentarios que surjan sobre el Informe Final Borrador tanto en la presentación como en el seminario serán incorporados en el Informe Final.

## **CAPÍTULO 2 INDUSTRIA ELÉCTRICA EN BOLIVIA**

### **2.1 Marco Legal**

El marco legal relevante en Bolivia para el sector de electrificación rural, está compuesto por la Ley de Electricidad, el Reglamento de Electrificación Rural, el Sistema de Información de Electrificación Rural y. Adicionalmente, la electrificación rural debe ser desarrollada en concordancia con otras leyes, políticas y reglamentos como son la Ley de Participación Popular, Ley de Descentralización, la Ley de Medio Ambiente la Estrategia para la Reducción de la Pobreza y el Sistema Nacional de Inversión Pública. Los proyectos de electrificación rural deben ser implementados bajo este marco legal.

#### **(1) La Ley de Electricidad**

La Ley de Electricidad (Ley No. 1604) fue promulgada el 21 de Diciembre de 1994. El propósito principal de la Ley es el de transferir actividades energéticas al sector privado y desintegrar verticalmente el sector en generación, transmisión y distribución de electricidad. La Reforma Boliviana del Sector Eléctrico está siendo ejecutada bajo los preceptos de la Ley.

#### **(2) El Reglamento de Electrificación Rural**

El Reglamento de Electrificación Rural (Decreto Supremo 24772), promulgado el 31 de Julio de 1997, establece el marco de implementación mediante la emisión de instrucciones y lineamientos para la implementación de proyectos de electrificación rural con los mecanismos de la participación popular.

#### **(3) El Sistema de Información de Electrificación Rural**

El Decreto sobre el Sistema de Información de Electrificación Rural (Decreto Supremo 213357) fue emitido el 12 de Mayo de 1998. Su principal objetivo es recolectar y utilizar información relevante para la implementación paulatina de la electrificación rural con la facilitación del VMEH y ejecución de las prefecturas y el sector privado.

#### **(4) La Ley de Medio Ambiente**

La Ley de Medio Ambiente (Ley No. 1333) fue emitida en 1990. La Ley establece que los estudios sectoriales de impacto ambiental deben llevarse a cabo bajo la supervisión del Organismo Sectorial Competente y el Viceministerio de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Desarrollo Forestal (VMARNDF). En caso que se anticipe un impacto negativo en el medio ambiente provocado por un proyecto de electrificación rural, la Unidad de Medio Ambiente del VMEH y el VMARNDF, serán las encargadas de supervisar el cumplimiento de esta Ley.

#### **(5) La Ley de Participación Popular**

La Ley de Participación Popular de 1994 promueve la participación popular en la implementación del desarrollo rural. La Municipalidad como entidad ejecutora podrá implementar proyectos de electrificación rural bajo normas sectoriales y del Sistema Nacional de Inversión Pública.

#### **(6) Estrategia de Reducción de la Pobreza (EBRP)**

El Documento de la Estrategia Boliviana de Reducción de la Pobreza es un documento de política de acción para el alivio de la pobreza en Bolivia. Los principales objetivos son:

- Ampliar las oportunidades de empleo e ingresos de la población pobre.
- Desarrollar capacidades productivas de los pobres.
- Aumentar la Seguridad y Protección de de los pobres.
- Aumentar la participación e integración social.

La mayoría de los proyectos de electrificación rural serán llevados a cabo siguiendo los lineamiento establecidos en la estrategia de reducción de la pobreza (EBRP). La electrificación rural es una de los temas de prioridad máxima para el alivio a la pobreza en la EBRP. De acuerdo con el esquema de la EBRP, las municipalidades podrán implementar proyectos de electrificación rural dentro su competencia territorial.



## **2.2 Entes Gubernamentales y Regulatorios**

El Gobierno Central no participa directamente en la implementación de proyectos energéticos a partir del ejercicio de la nueva Ley de Electricidad en 1994. Las organizaciones del gobierno central relacionadas con la electrificación rural son el Viceministerio de Energía e Hidrocarburos (VMEH) y la Superintendencia de Electricidad e Hidrocarburos (SE). El papel del gobierno central se limita a la promoción y facilitación de la electrificación rural. La actual estructura y funciones de las organizaciones relacionadas son descritas brevemente a continuación.

### **(1) Viceministerio de Energía e Hidrocarburos (VMEH)**

El Viceministerio de Energía e Hidrocarburos es la máxima organización en el sector energético bajo tuición del Ministerio de Desarrollo Económico en Bolivia. Las principales funciones del VMEH son:

- establecer políticas y estrategias energéticas nacionales,
- proponer estándares y reglamentos,
- promover la inversión privada tanto nacional como extranjera,
- coordinar y negociar financiamientos nacionales y extranjeros, y
- coordinar con la Superintendencia de Electricidad (SE) en el marco del Sistema de Regulación Sectorial.

El VMEH, dirigido por el Viceministro, está compuesto por 12 unidades según lo expuesto en la Figura 2.1. Las funciones de las unidades relacionadas con la electrificación rural se describen a continuación:

#### **1) Unidad de Desarrollo Energético**

La Unidad de Desarrollo Energético (UDE) juega un rol principal en la electrificación rural. La unidad está compuesta de cuatro personas incluyendo un jefe y tres técnicos ingenieros y el equipo EFP que tiene cinco expertos para promover el PRONER bajo el financiamiento del UNDP. Las principales funciones son las siguientes:

- establecer políticas y normas nacionales para la electrificación rural,
- promover proyectos de electrificación rural a través de asistencia técnica para la formulación del proyecto y su gestión financiera,
- apoyar la implementar de proyectos de electrificación rural bajo el PRONER con el equipo EFP,
- coordinar e implementar proyectos de electrificación rural en cooperación con prefecturas y municipios, y
- apoyar al Programa de Asistencia para la Administración del Sector Energético (PAASE) del Banco Mundial para electrificación rural mediante energía renovable.

## 2) Unidad de Evaluación y Normas

- evaluar y normar la actividad de la industria eléctrica nacional
- supervisar la implementación de proyectos en concordancia con las políticas de desarrollo energético,
- coordinar con compañías privadas en el Mercado energético,
- preparar estrategias para la exportación de energía a los países vecinos,
- proveer datos estadísticos de forma oportuna y confiable, y
- monitorear las cooperativas eléctricas y compañías privadas.

## 3) Unidad de medio ambiente

- preservar y controlar el medio ambiente natural y social para el desarrollo sostenible del sector de energía e hidrocarburos.

## 4) Unidad de Promoción de Inversiones

- promover la inversión doméstica y extranjera para proyectos estatales, y
- proveer información a los inversionistas privados.

## (2) Superintendencia de Electricidad (SE)

La Superintendencia de Electricidad es una organización con jurisdicción nacional que regula las actividades de la industria eléctrica. Sus actividades comenzaron en

1996 siguiendo lo establecido por la Ley de Electricidad de 1994 bajo la tutela del ministerio de Desarrollo Económico.

Las principales funciones relacionadas con la electrificación rural son las siguientes:

- evaluar y otorgar concesiones y licencias para proyectos de electrificación rural,
- aprobar y controlar la tarifa máxima aplicable a la industria eléctrica, y
- asegurar actividades eléctricas de la industria y proveer los servicios necesarios para su posterior desarrollo.

### **(3) Comité Nacional de Oferentes de Electricidad (CNDC)**

El Comité Nacional de Oferentes de Electricidad fue creado por el Artículo 18 de la Ley de Electricidad No. 1604 para coordinar la generación, transmisión y despacho de electricidad al mínimo costo dentro el SIN.

El CNDC tiene las siguientes responsabilidades:

- Planificar la operación del SIN, con el objetivo de satisfacer la demanda mediante una operación segura, confiable y de costo mínimo
- Realizar el Despacho de Carga en tiempo real a costo mínimo
- Determinar la potencia efectiva de los generadores del SIN
- Calcular los precios de Nodo del SIN y presentarlos a la Superintendencia de Electricidad para su aprobación
- Establecer el balance valorado del movimiento de electricidad que resulte de la operación integrada, de acuerdo a reglamento
- Entregar a la Superintendencia de Electricidad la información técnica, modelos matemáticos, programas computacionales y cualquier otra información requerida por la Superintendencia

## **2.3 Sistema Nacional de Suministro Eléctrico**

### **2.3.1 Sistema Nacional**

El sistema eléctrico en Bolivia está formado por los siguientes sistemas:

#### **(1) Sistema Interconectado Nacional (SIN)**

Es el Sistema Eléctrico interconectado que, a la fecha de promulgación de la presente ley, abastece de electricidad en los departamentos de La Paz, Cochabamba, Santa Cruz, Oruro, Chuquisaca y Potosí y los Sistemas Eléctricos que en el futuro se interconecten con éste.

La demanda de electricidad dentro el SIN se divide casi en igual magnitud entre La Paz, Santa Cruz y el resto (Cochabamba, Oruro, Chuquisaca y Potosí). Aproximadamente 50% de la generación proviene de centrales hidroeléctricas y 50% de generación termoeléctrica de gas natural en 1999. En el SIN, una compañía puede abocarse solamente en una actividad de las áreas de generación de energía eléctrica.

#### **(2) Sistemas aislados (SA)**

Los sistemas aislados son aquellos sistemas de provisión de electricidad que no estén conectados al SIN. Estos cubren la ciudad de Tarija, otros centros urbanos en el departamento de Tarija, Riberalta en el departamento del Beni y la ciudad de Cobija en el departamento de Pando. Los SA operan aproximadamente al 5% de su capacidad instalada, 5% de la generación y sirve al 5% de la población de Bolivia.

#### **(3) Otros Sistemas Aislados Menores (OSA)**

Estos sistemas aislados cuentan con una capacidad efectiva menor a 1.000kW. Operan de 4 a 8 horas por día. En la mayoría de los casos, son operados por pequeñas cooperativas en pequeñas poblaciones con menos de 2.000 hogares. Los OSA cubren aproximadamente el 3% de su capacidad instalada, 1% de la generación y 1% de la población de Bolivia en 1999.

#### **(4) Auto Productores independientes**

Además de los sistemas anteriores, existen auto productores que generan electricidad principalmente para satisfacer sus propias necesidades mediante

generación hidroeléctrica y termal usando gas natural y biomasa. En la mayoría de los casos, son fábricas grandes y minas. Cubren alrededor del 8,5% de su capacidad instalada y 5% de la generación eléctrica de Bolivia. Algunos autoprodutores venden sus excedentes eléctricos al SIN.

Los SA y los OSA tienen autorización a integrarse verticalmente en las tres actividades de la provisión eléctrica (generación, transmisión y distribución). Los generadores de diesel son las principales Fuentes de energía para los SA y los OSA.

### **2.3.2 Estructura de la Provisión de Energía**

#### **(1) Sistema de Generación de Energía**

Existen siete compañías dentro el SIN al final de 1999: COBEE (Compañía Boliviana de Energía Eléctrica), Corani S.A., Guaracachi S.A., Valle Hermoso S.A., Hidroeléctrica Bolivia S.A., Río Eléctrico S.A., Synergia S.A. y Río Eléctrico S.A. Estos generadores deben estar conectados al STI (Sistema Troncal Interconectado) y deben cumplir con las regulaciones establecidas por el CNDC.

En los sistemas aislados, existen muchas cooperativas que operan como generadores. La CRE (Cooperativa Rural de Electrificación), por ejemplo, provee energía eléctrica a Santa Cruz. Mas aún, los distribuidores tienen autorización de generar con capacidad menor al 15% de su demanda a través de energías renovables.

La nueva Ley de Electricidad prohíbe a cualquier generador tener capacidad mayor al 35% de la capacidad total del SIN.

##### **1) Capacidad Instalada**

La capacidad instalada total a finales de 1999 es de 1.266MW, de los cuales 872,5MW (68,9%) provienen de generación termoeléctrica y 393,1MW (31,3%) provienen de centrales hidroeléctricas, siendo los primeros provistas por una combinación de turbinas de gas y motores a diesel. La tasa de crecimiento promedio anual de la capacidad instalada entre 1995 y 1999 fue 11,2%.

**Tendencia Histórica de la Capacidad Instalada por Tipo de Generación**

(MW)

	1995	1996	1997	1998	1999
Hydroelectric power	306.4	318.4	336.4	341.9	393.1
Share	37.0%	31.6%	32.9%	32.8%	31.1%
Growth rate	6.0%	3.9%	5.7%	1.6%	15.0%
Thermal power	521.5	688.9	687.3	700.9	872.5
Share	63.0%	68.4%	67.1%	67.2%	68.9%
Growth rate	4.8%	32.1%	-0.2%	2.0%	24.5%
Total	827.9	1,007	1,024	1,043	1,266
Growth rate	5.2%	21.7%	1.6%	1.9%	21.4%

Fuente: Anuario Estadístico del Sector Eléctrico Boliviano 1999', VMEH

2) Generación Eléctrica:

La producción total de generación era de 3.898GWh en 1999. La tabla a continuación muestra la tendencia histórica de producción por tipo de generación. La generación termoeléctrica superó a la hidroeléctrica en Bolivia en 1994. La tasa de crecimiento anual promedio de la producción total de electricidad fue de 6,7% entre 1995 y 1999.

**Tendencia Histórica de la Generación de Electricidad por Tipo de Generación**

(GWh)

	1995	1996	1997	1998	1999
Hydroelectric power	1283	1460	1573	1513	1793
Share	42.7%	45.3%	45.5%	41.1%	46.0%
Growth rate	-5.0%	13.8%	7.7%	-3.8%	18.5%
Thermal power	1720	1760	1884	2172	2105
Share	57.3%	54.7%	54.5%	58.9%	54.0%
Growth rate	16.8%	2.3%	7.0%	15.3%	-3.1%
Total	3003	3,220	3,457	3,685	3,898
Growth rate	6.3%	7.2%	7.4%	6.6%	5.8%

Fuente: 'Anuario Estadístico del Sector Eléctrico Boliviano 1999', VMEH

**(2) Sistema de Transmisión**

La Empresa Transportadora de Electricidad (TDE) compró en julio de 1997 el STI (Sistema Troncal Interconectado), el principal sistema troncal de Bolivia y está

comprometida en los negocios de transmisión de electricidad como la única compañía de transmisión en el país.

El STI es una parte del SIN y posee líneas de transmisión y subestaciones que están conectadas a los generadores y mercados domésticos principales. El STI conecta subestaciones tales como Kenko, Vinto, Captive, Valle Hermoso, Corani, Guaracachi, Potosí y Sucre. Los voltajes de las líneas de transmisión conectados al SIN son 230kV, 115kV, 69kV con una frecuencia de 50Hz. La longitud total de las líneas de transmisión conectadas al STI (230kV, 115kV y 69kV) alcanza a 1.498.5 Km. de largo. La longitud de las líneas es de 535,5 Km. para 230kV, 863,0 Km. para 115kV y 100 Km. para 69kV. La capacidad total de las subestaciones conectadas al SIN es de 1.218MVA. La TDE posee y opera 21 subestaciones, 17 de las cuales forman parte del STI.

**Voltajes y Longitud de las líneas de transmisión conectadas al SIN**

Voltajes conectados al SIN (kV)	230	115	69
Longitud de líneas conectadas al SIN (Km.)	535.5	863.0	100.0

Fuente: Anuario Estadístico del Sector Eléctrico Boliviano 1999, VMEH

La transmisión del STI esta limitada en la parte oriental del país (Santa Cruz). En la línea Carrasco-Guarachi, donde debido a la limitada capacidad de transformación de la subestación de Guarachi, el flujo es limitado 70MW. Sin embargo, el sistema de transmisión pudo cubrir todos los requerimientos de la totalidad del Mercado.

En vista de que se trata de un monopolio en Bolivia, la actividad de la TDE esta totalmente regulada. La CNDC es responsable por el ajuste de la transmisión eléctrica y del monitoreo de la operación mensual de la TDE. El cargo de transmisión pagado por los usuarios (generadores y distribuidores) es determinado por la Superintendencia de Electricidad.

**(3) Sistema de distribución**

In En la totalidad del Mercado del SIN, existen 6 compañías distribuidoras. Estas son: ELECTROPAZ en La Paz, ELFEO en Oruro, ELFEC en Cochabamba, CRE en Santa Cruz, CESSA en Sucre y SEPSA en Potosí. La distribución eléctrica es un monopolio en las áreas de operación autorizadas. Adicionalmente, existen

cooperativas de menor escala relacionadas con el abastecimiento de electricidad en las áreas rurales.

Los voltajes de las líneas de distribución en Bolivia son 3kV, 24.9kV y 6.6kV. El voltaje mas bajo es 230/115V en La Paz y 380/220V en otras áreas.

### 2.3.3 Costo de energía, tarifa y consumo

#### (1) Costo de energía

En el SIN, existe un mercado global relativamente competitivo (Mercado spot y Mercado de contratos de plazo fijo) entre generadores y distribuidores. El Mercado global en el SIN esta conformado de entidades tales como generadoras, compañías de transmisión, distribuidores y grandes consumidores. En el mercado global del SIN, los negocios serán determinados por las negociaciones entre los participantes sobre la base de demanda y oferta de la electricidad en el próximo futuro. Al presente, tres generadores excepto COBEE ofertan exactamente la misma tarifa. El CNDC (Comité Nacional de Despacho de Carga) es responsable de la coordinación de la operación y administración de las transacciones.

Para determinar el precio de la energía, cada compañía generadora ofrece los costos de generación de cada generador. El CNDC calcula los precios en las conjunciones y establece los programas mas eficientes de producción con el fin de atender la demanda.

**Precio promedio de compra en el mercado spot**

	Cargos de energía (\$/MWh)	Cargos de Potencia (\$/kW-month)	Cargos por transmisión (kW-mes)	Total (\$/MWh)
CRE	19.2	7.5	0.3	36.8
ELECTROPAZ	22.0	9.2	2.9	51.2
ELFEC	19.1	7.7	1.9	41.8
ELFEO	19.9	8.2	4.4	54.0
SEPSA	19.4	8.6	1.7	43.8
CESSA	19.8	8.9	1.1	43.5

(Tipo de cambio: 1US\$ = 5.82Bs en 1999)

Fuente: Informe de Actividades Gestión 1999, Comité Nacional de Despacho de Carga



**(2) Tarifa de electricidad**

Cada distribuidor cobra una tarifa diferente a cada categoría de clientes. La tarifa de clientes residenciales esta siendo subsidiada.

La siguiente tabla muestra la estructura tarifaria de los diferentes distribuidores para la categoría residencial al mes de Agosto de 1999.

**Estructura tarifaria para la categoría residencial (\$us/Mes)**

**1) ELECTROPAZ (Agosto de 1999)**

Área urbana

	kWh	US\$
Carga Mínima	0-50	3.58
Costo por kWh adicional	51-300	0.05
	301-	0.06
	501-	0.06

Area rural

**PALCA**

	kWh	US\$
Carga Mínima	0-50	4.16
Costo por kWh adicional	51-	0.09

**RIO ABAJO - LURIBAY**

	kWh	US\$
Carga Mínima	0-50	6.05
Costo por kWh adicional	51-	0.09

**2) ELFEO (Agosto de 1999)**

	kWh	US\$
Carga Mínima	0-50	3.87
Costo por kWh adicional	51-120	0.06
	121-	0.08

3) ELFA (Julio de 1999)

	kWh	US\$
Carga Mínima	0-40	3.81
Costo por kWh adicional	41-	0.09

4) EMPRELPAZ

	kWh	US\$
Carga fija		1.96
Costo por kWh adicional	0-25	0.02
	26-	0.02

Tipo de cambio: 1\$us=5.88Bs

Fuentes: Cada compañía distribuidora, Anuario Estadístico del Sector Eléctrico Boliviano 1999, VMEH

La tendencia histórica de la tarifa residencial por distribuidores se presenta a continuación:

**Tendencia Histórica de la Tarifa Residencial (Sus/kWh)**

	1995	1996	1997	1998	1999
ELECTROPAZ	0.056	0.058	0.061	0.065	0.069
CRE	0.056	0.063	0.066	0.066	0.064
ELFEC	0.067	0.062	0.073	0.076	0.076
ELFEO	0.060	0.063	0.074	0.080	0.079
CESSA	0.054	0.059	0.064	0.068	0.052
SEPSA	0.074	0.077	0.081	0.086	0.083

Fuente: Anuario Estadístico del Sector Eléctrico Boliviano 1999, VMEH

**(3) Consumo de electricidad**

El consumo total de electricidad fue de 3.176,5 GWh en 1999. La tasa de crecimiento promedio entre 1995 y 1999 fue de 7,9%. La categoría de mayor consumo es la residencial (40,7%), seguido por la industrial (24,3%), general (17,1), minas (8,5%) e iluminación pública (4,8%) en 1999.

**Tendencia Histórica del Consumo Eléctrico por Categoría**

(GWh)

	1995	1996	1997	1998	1999
Residencial	996	1,065	1,139	1,207	1,292
General	375	408	459	499	542
Industrial	514	549	680	744	771
Mineri	197	199	229	245	269
Luz Public	107	117	127	137	153
Otros	156	152	131	158	149
Total	2,345	2,491	2,766	2,991	3,176

Fuente: Anuario Estadístico del Sector Eléctrico Boliviano 1999, VMEH



## **CAPÍTULO 3 ELECTRIFICACION RURAL EN BOLIVIA**

### **3.1 Política del VMEH**

El Gobierno de Bolivia reconoce que la electrificación rural es la base para el desarrollo rural y la considera como uno de los asuntos de prioridad en las políticas energéticas del VMEH. Bajo estas circunstancias, el VMEH empezó un programa de cinco años (1° fase) llamado PRONER (Programa Nacional de Electrificación Rural) en 1998 con el fin de promover la electrificación rural. El objetivo del PRONER es contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida y a las actividades económicas para la gente que vive en las áreas rurales, por lo tanto apoyando y promoviendo el desarrollo socio-económico en las áreas rurales del país. Mas específicamente, el VMEH, a través del PRONER, planifica duplicar la tasa de electrificación rural de 13.7% al 28% hasta el 2001, ofreciendo energía eléctrica a 110.000 familias, o 450.000 personas. La inversión total proyectada para el PRONER es de US\$103 millones en cinco años. Con el fin de alcanzar estas metas, el VMEH establece políticas, gestiona recursos y proporciona la asistencia técnica y la coordinación necesarias para la exitosa implementación de los proyectos de electrificación rural en colaboración con las prefecturas y municipalidades.

El VMEH promueve el uso de fuentes renovables de energía amigables para el medio ambiente tales como fotovoltaicas, pequeñas centrales hidroeléctricas y energía eólica para ahorrar fuentes de energía exportable y reducir las emisiones de dióxido de carbono. El uso de fuentes renovables de energía disponibles en cada localidad es considerado muy importante para alcanzar el abastecimiento sostenible de energía en la región.

La participación del sector privado en la electrificación rural es promovida por el Estado a través del VMEH con el PRONER, mediante incentivos y el cofinanciamiento público - privado para implementar proyectos FV y de pequeñas centrales hidroeléctricas en las áreas rurales. Sin embargo, la participación del sector privado, no ha sido tan activa como se esperaba. El VMEH necesita considerar la forma de proporcionar mayores incentivos al sector privado a través de mecanismos financieros adecuados para incorporarlo en los proyectos de electrificación rural.

Existen casos en que las cooperativas y los comités de electrificación se convierten en promotores de la electrificación rural a través de la identificación e implementación de los proyectos.. El VMEH espera una participación mas activa de los beneficiarios. Se

espera también que los usuarios compartan los costos de instalación y equipamiento y tomen mayor responsabilidad por la operación y mantenimiento de los sistemas en el futuro.

### 3.2 Progreso del PRONER

En el desarrollo del PRONER se contempla ambas fuentes de financiamiento, la pública y la privada sobre la base de la política de co-financiamiento de la Estrategia de Energía Rural. Los fondos públicos son usados para atender proyectos de baja rentabilidad con el fin de incentivar al sector privado a canalizar sus fondos a la porción rentable de los proyectos.

El VMEH ha ido realizando el seguimiento del progreso de la electrificación rural. La tabla que sigue presenta la tendencia de la electrificación rural en Bolivia. La cobertura de electrificación rural estaba en el 22.3% a fines del año 2000 de acuerdo a información estadística. La cobertura meta del 28.0% de la electrificación rural para el 2002 puede ser alcanzada si continúan canalizándose fondos suficientes para la electrificación rural.

**Tasa de la Electrificación Rural en Bolivia**

	1997	1998	1999	2000
Total Flias. Rurales	866,714	882,113	892,809	885,454
Flias con electricidad	118,482	152,500	183,223	197,239
Tasa ER	13.7%	17.3%	20.5%	22.3%

Fuente: VMEH

La primera fase del PRONER esta programada para concluir en Diciembre de 2002. Sin embargo, el Gobierno, considera a la electrificación rural como un asunto de prioridad promoviéndola aun más allá del 2002.

### 3.3 Inversión en Electrificación Rural

Durante los seis años pasados, la inversión en infraestructura pública en Bolivia fluctuó entre los US\$155 millones y los US\$215 millones por año. En el 2000 alcanzo la suma de US\$186 millones. La inversión en el sector de energía eléctrica empezó a decaer en 1997 posiblemente debido a que el sector público ya no invirtió por efecto de la

privatización del sector, fue el sector privado quien realizó las inversiones. Sin embargo, la inversión en electrificación rural aun permanece en un nivel relativamente aceptable, alcanzando una programación de US\$7.3 millones en el 2000, posiblemente con la implementación de la política sectorial del PRONER.

La siguiente tabla presenta la inversión pública en infraestructura en Bolivia durante los últimos seis años.

### Inversión en Infraestructura Pública en Bolivia

(US\$ 1,000)

	1995			1996			1997		
	Total	Internal	External	Total	Internal	External	Total	Internal	External
Energía	40,641	13,221	27,420	26,245	5,948	20,297	13,930	8,925	5,005
Generación de Electrica Energia	26,815	5,168	21,647	18,953	2,121	16,832	75	75	0
Transmision de Electrica Energia	10,714	5,264	5,450	5,601	2,396	3,205	5,879	1,593	4,286
Electrificación Rural	2,435	2,435	0	1,157	1,155	2	7,105	6,993	112
Otra Energia	677	354	323	534	276	258	871	264	607
Energia Alterna	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Transporte	156,979	45,475	111,504	184,551	45,067	139,484	162,797	82,298	80,499
Comunicacion	5,134	4,113	1,021	0	0	0	0	0	0
Recurso Hidraulica	5,564	2,760	2,804	4,851	2,362	2,469	4,108	2,360	1,748
Total Infraestructura Inversion	208,318	65,569	142,749	215,647	53,397	162,250	180,835	93,583	87,252
GDP	6,700,000			7,200,000			7,800,000		
Inv.Total como % del GDP	3.1%			3.0%			2.3%		

	1998			1999			2000		
	Total	Internal	External	Total	Internal	External	Total	Internal	External
Energía	10,144	6,046	4,098	8,327	6,205	2,122	8,520	8,206	314
Generación de Electrica Energia	370	370	0	-	-	-	107	107	0
Transmision de Electrica Energia	2,397	809	1,588	2,018	2,018	0	954	954	0
Electrificación Rural	6,379	4,486	1,893	4,634	3,925	709	7,262	7,005	257
Otra Energia	998	381	617	873	69	804	112	112	0
Energia Alterna	-	-	-	802	193	609	85	28	57
Transporte	140,481	66,098	74,383	148,805	66,033	82,772	171,922	77,434	94,488
Comunicacion	29	29	0	-	-	-	-	-	-
Recurso Hidraulica	4,413	2,020	2,393	2,134	1,877	257	5,839	3,223	2,618
Total Infraestructura Inversion	155,067	74,193	80,874	159,266	74,115	85,151	186,281	88,863	97,418
GDP	8,088,000			8,351,000					
Inv.Total como % del GDP	1.9%			1.9%					

Fuente : VIPFE y Banco Mundial

### 3.4 Organizaciones relacionadas con la Electrificación Rural

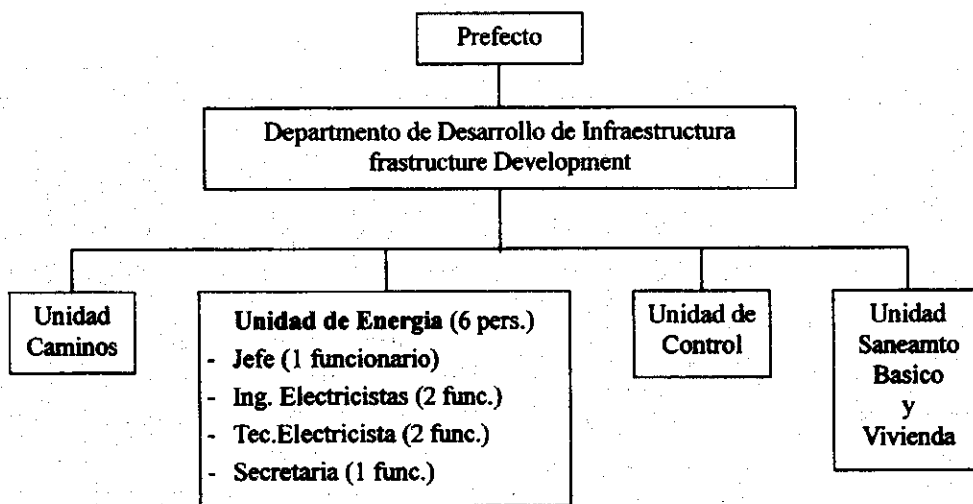
#### 3.4.1 Gobiernos Locales, Compañías de transmisión y de distribución

Los gobiernos locales incluyendo la prefectura y la municipalidad juegan un rol importante en la electrificación rural después de la aplicación de la Ley de Participación Popular y la Ley de Descentralización Administrativa en 1995. Los proyectos de electrificación rural han sido implementados bajo el liderazgo del sector público, teniendo en algunos casos la participación del sector privado.

### (1) Prefecturas de La Paz y Oruro

La unidad de energía del Departamento de Infraestructura y Desarrollo esta a cargo de la electrificación rural en la Prefectura de La Paz. La unidad cuenta con seis funcionarios incluyendo al jefe, dos ingenieros electricistas, dos técnicos electricistas y una secretaria tal como se muestra a continuación.

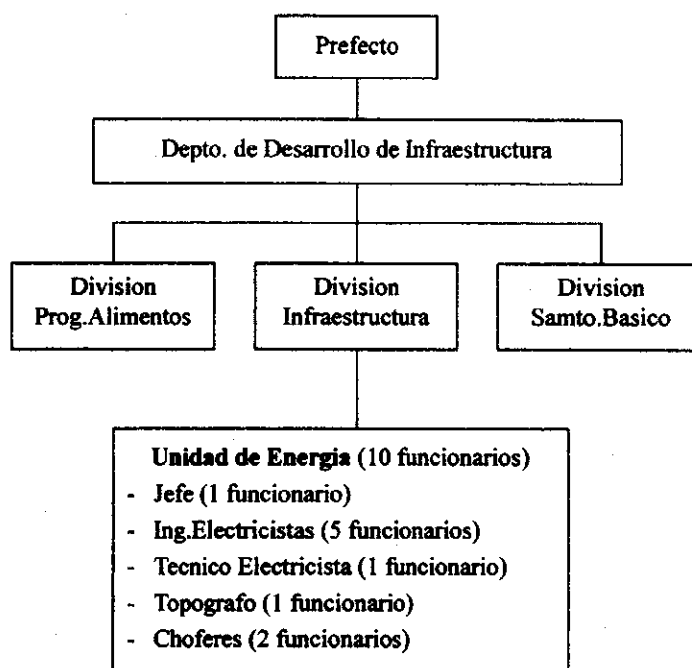
**Organigrama de la Unidad de Energía de la Prefectura de La Paz**



En la Prefectura de Oruro, la unidad de energía de la División de Infraestructura es responsable de la electrificación rural tal como se presenta en la siguiente imagen. La unidad esta compuesta de diez funcionarios incluyendo un jefe, cinco ingenieros electricistas, un técnico electricista, un topógrafo y dos chóferes.



### Organigrama de la Unidad de Energía de la Prefectura de Oruro



Las funciones de ambas unidades de energía en La Paz y en Oruro, son resumidas y presentadas a continuación.

- identificar las necesidades de electrificación en el área rural,
- preparar el plan de electrificación del departamento,
- formular, evaluar y financiar proyectos de electrificación rural,
- supervisar la implementación de proyectos, y
- coordinar entre municipios, operadores y usuarios.

#### (2) Municipalidad

Una vez que el Documento de Estrategia Boliviana para la Reducción de la Pobreza (EBRP) entre en vigencia, se espera que los municipios jueguen un rol más importante como entidades de implementación de proyectos de electrificación rural. Sin embargo, se prevé la necesidad de un fortalecimiento substancial de dichas entidades, con profesionales técnicos especializados para la eficiente implementación de los proyectos de electrificación rural.

### **(3) Empresas Distribuidoras**

Existen cinco empresas distribuidoras en La Paz y cinco en Oruro. Sus nombres se presentan a continuación:

#### En La Paz

1. ELFA
2. Electropaz
3. Empreipaz
4. CEY S.A.
5. EDEL SAM

#### En Oruro

1. ELFEO
2. E.E.Caracollo
3. 5 de Agosto
4. COSEP Ltda..
5. COOPSEL

Las compañías distribuidoras compran energía de compañías generadoras de energía y distribuyen la energía eléctrica a los consumidores dentro sus territorios usando sus propias líneas de distribución o las líneas de propiedad de las prefecturas.

Las principales empresas distribuidoras cuentan con concesión de servicio público otorgada por la Superintendencia de Electricidad.

### **(4) Proveedoras de Sistemas FV**

Al presente, las siguientes compañías privadas operan como proveedoras de sistemas FV en Bolivia y trabajan para la provisión, instalación, capacitación en la operación y mantenimiento diario a los usuarios locales y servicio técnico a solicitud de los usuarios.

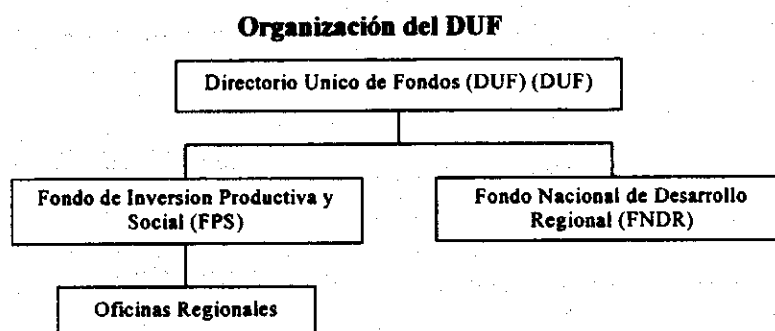
Nombre de la compañía	Marca del Panel FV
HANSA	SIEMENS (Alemania, EUA)
ESAND	ATERSA (España)
SERCOIN	ISOFOTON (España)
ENERSOL	KYOCERA (Japón, EUA)
ALKE	SHELL (RU, Holanda)

### 3.4.2 Organizaciones de financiamiento

La mayoría de los fondos que vienen de ayudas externas para el desarrollo rural se canalizan a través de la Directorio Único de Fondos (DUF) de acuerdo con la nueva política de compensación. El DUF será la principal organización para el financiamiento de un proyecto de electrificación rural a nivel municipal. Adicionalmente, también se espera que otras organizaciones locales de financiamiento apoyen la electrificación rural.

#### (1) Directorio Único de Fondos (DUF)

El DUF es una institución nacional de financiamiento para coadyuvar en el alivio a la pobreza incluyendo la electrificación rural a nivel municipal, bajo tuición del Ministerio de la Presidencia. El DUF dirige dos fondos de financiamiento; uno es el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) que proporciona créditos a prefecturas y municipalidades y el Fondo Nacional de Inversión Productiva y Social (FIPS) que otorga transferencias a los municipios. El DUF ha establecido oficinas regionales en cada departamento. Se considera a la electrificación rural como uno de los sectores prioritarios para su financiamiento a través del FPS. Se espera que el monto total de los fondos para el primer año fiscal, supere los a US\$ 50 millones.



## **(2) Fondo Rotatorio para el Proyecto PNUD**

Este fondo es desarrollado por el FNDR para el apoyo del PNUD a los proyectos de electrificación. El monto total de ese financiamiento será de US\$2 millones, un millón del VMEH y uno del PNUD. Se ha previsto que este fondo rotatorio será usado para apoyar el financiamiento de la electrificación rural con energías renovables.

## **(3) Fondo Boliviano para la Electrificación Rural (FBER)**

El Fondo Boliviano para la Electrificación Rural (FBER) será financiado por iniciativas públicas y privadas para financiar proyectos de electrificación en el área rural. El FBER proveerá financiamiento a los siguientes proyectos: redes y extensión de líneas de transmisión, interconexión eléctrica, cambio de fuentes de generación, mediante fusiones y adquisiciones pequeñas, con el fin de consolidar el sector eléctrico rural. Se espera que el monto total del financiamiento alcance los US\$30 millones.

### **3.5 Actividades de los Organismos Internacionales**

Los organismos internacionales han proporcionado apoyo técnico y financiero tanto a los gobiernos locales como al gobierno central para promover la electrificación rural a través de energía renovable así como para la extensión de redes de líneas.

#### **3.5.1 Asistencia Multilateral**

##### **(1) Banco Mundial**

El Banco Mundial provee financiamiento y apoyo bajo el esquema del Programa de Asistencia al Gerenciamiento del Sector Energético (ESMAP) en cooperación con el PNUD. Las principales actividades para la electrificación rural son las siguientes:

- Apoyo a la reforma del sector energético a la estrategia energética en el sector rural,
- Programa de planificación energética del ESMAP, y
- Programa de energía renovable para la electrificación rural.

El Banco Mundial tiene dos esquemas de electrificación rural. Uno es el esquema de crédito para proyectos FV a través del Mecanismo Global de Medio Ambiente (GEF). El proyecto empezara a mediados de 2001 y será completado en 12 meses. Bajo este esquema, el crédito será provisto a los usuario del FV por cinco anos. El otro es el proyecto de electrificación rural y telecomunicaciones con un crédito de alrededor de US\$60 millones el cual se encuentra en negociación con el Banco Mundial.

**(2) Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)**

El Programa tenia 22 proyectos de electrificación rural con energías renovables, que formaban parte del financiamiento global de US\$ 8.2 millones de fuentes externas (GEF) e internas (FNDR, Gobierno, Municipios, etc.) en línea con PRONER. La implementación de redes eléctricas y los cambios en las condiciones socioeconómicas de las zonas de los proyectos meta, evitaron que los proyectos fueran implementados. Se están planificando nuevos proyectos para combinarlos con los proyectos del PNUD/GEF.

**(3) Banco Inter-Americano de Desarrollo (BID)**

El BID no apoya la implementación de proyectos de electrificación rural al presente. En su política está incluido el desarrollo energético pero no han sido incluidos en los proyectos propuestos por el gobierno boliviano en los últimos años, con excepción de estudios de preinversión canalizados a través del VIPFE. El ultimo proyecto energético implementado fue un proyecto de transmisión con ENDE que comenzó hace muchos años y fue completado en el 1998.

**3.5.2 Asistencia Bilateral**

La electrificación rural mediante la energía renovable ha sido promovida por organismos de asistencia bilateral tales como la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI), la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) y la Misión Holandesa. Después de poner en vigencia la EBRP, la asistencia bilateral continuará apoyando la electrificación rural bajo ésta política.

**(1) Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI)**

La AECI llevo a cabo el primer programa de electrificación rural usando sistemas FV para 1.500 hogares en el área rural del altiplano desde 1988 a 1993. De 1998 a

2002, se planifica instalar 3.000 sistemas FV para provisión de agua, escuelas y viviendas en colaboración con organizaciones locales. El costo de un sistema FV bajo este esquema es aproximadamente de US\$ 850. El beneficiario paga el 8% del costo total (US\$ 150 por adelantado) y AECI provee financiamiento para el resto.

**(2) Agencia Alemana de Cooperación Técnica y Cooperación Financiera Alemana**

La Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) apoyó el Programa para la Difusión de Energías Renovables desde 1991 hasta 1997. El programa puso énfasis en el traspaso de tecnología de energías renovables incluyendo la biomasa, energía solar y energía eólica a promotores locales y ONGs. El CINER, una ONG boliviana para electrificación rural, colaboró con la GTZ después del PROPER y ahora trabaja en el programa de electrificación rural en el país.

El Banco de Fomento para el Desarrollo Alemán (KfW) se compromete a proveer cinco millones de marcos alemanes para la electrificación rural (energía FV y pequeñas centrales hidroeléctricas) para lo cual ya se firmó un acuerdo para estudios con energías renovables en 2001 .

**(3) Misión Holandesa**

La Misión Holandesa proporcionó asistencia a la electrificación rural bajo el Programa de Energía y Medio Ambiente (PEMA) desde 1992 en Cochabamba, Chuquisaca, Potosí, Tarija y Santa Cruz.

En el caso de Santa Cruz, alrededor de 4.000 sistemas FV fueron instalados contrastando con los 10.000 sistemas previstos en septiembre de 1999. La Cooperativa de Electrificación Rural (CRE) esta a cargo de la operación y manejo del sistema FV. El beneficiario paga US\$ 320 (40% del costo total) para la instalación y US\$ 8 mensualmente para la operación y mantenimiento.

En el caso de Cochabamba, alrededor de 300 sistemas FV fueron instalados desde 1998 contrastando con los 800 sistemas previstos. La ONG Energética fue contratada por la Misión para dar asistencia para prever una operación sostenible de los sistemas.

## CAPÍTULO 4 ELECTRIFICACION RURAL EN LA PAZ Y ORURO

### 4.1 Indicadores socio-económicos

#### (1) Población y Territorio

La Paz tiene un territorio de 133.985 km<sup>2</sup> y Oruro de 53.588 km<sup>2</sup>. La población total en 1997 era de 2.213.411 en La Paz y 366.829 en Oruro. La densidad de población es muy escasa, 16,5/km<sup>2</sup> en La Paz y 6,8/km<sup>2</sup> en Oruro. La tasa de crecimiento poblacional entre 1992-1997 fue alta en La Paz (2,0%) y relativamente baja en Oruro (0,9%) comparada con el promedio nacional de 2,3%.

**Indicadores de Población**

Año	La Paz		Oruro		Bolivia	
	1992	1997	1992	1997	1992	1997
Territorio (km <sup>2</sup> )	133.985		53.588		1.098.581	
Población	1.900.786	2.213.411	340.114	366.829	6.420.792	7.607.692
Hogares	545.566	602.421	120.027	121.719	1.692.566	1.914.793
Densidad de población ('97)	16,5/km <sup>2</sup>		6,8/km <sup>2</sup>		6,9/km <sup>2</sup>	
Tasa de crecimiento poblacional	2,0%		0,9%		2,3%	

Fuente: INE

#### (2) El PIBR y estructura económica / empleo

El PIB regional (PIBR) fue de Bs. 8.869 millones (27,2% el PIB nacional) en La Paz y Bs. 1.943.7 millones (5,9%) en Oruro en 1996. PIBR per capita fue de US\$ 785 en La Paz y US\$ 1.007 en Oruro. Las tasas de crecimiento del PIBR entre 1992 y 1997 fueron de 3,0% en La Paz y 1,7% en Oruro ambos menores que el promedio nacional de 4,1%.

**Indicadores PIB (1996)**

	La Paz	Oruro	Bolivia
PIB (Millones de Bs.)	8.869,0	1.943,7	32.510,9
PIB per capita (US\$)	785	1.007	843
Tasa de crecimiento del PIB (%)	3,0	1,7	4,1

Fuente: INE

La economía de La Paz esta basada en el sector de servicios (21,9%), sector manufacturero (17,7%) y servicios de la administración pública (15,1%) mientras que Oruro depende principalmente del sector minero (29,2%). Las cuotas del sector agrícola incluyendo el forestal y de pesca en el PIB de ambos es de (8,0%) en La Paz y en Oruro (5,1%), siendo más bajos que el promedio nacional (14,2%).

**Estructura del Sector Económico (1996)**

(%)

	La Paz	Oruro	Bolivia
Agricultura, Forestal, Pesca	8.0	5.1	14.2
Petróleo, Gas natural	-	-	1.3
Minería	5.2	29.2	4.6
Manufactura	17.7	16.2	16.4
Construcción	4.6	3.4	2.6
Electricidad, Gas, Agua	2.7	2.7	3.0
Transporte, Comunicaciones	13.8	7.7	10.4
Comercio	10.9	8.3	8.1
Servicios	21.9	16.6	15.0
Servicios de administración pública	15.1	10.7	10.9
Total	100%	100%	100%

Fuente: INE

El sector agrícola incluyendo la crianza de Ganado proporciona las mayores oportunidades de empleo en La Paz (39,1% del empleo total) y Oruro (42,9%). La tasa de desempleo fue alta en La Paz (2,3%) comparada con 1,7% in Oruro.

**Indicadores económicos (1997)**

(%)

	La Paz	Oruro	Bolivia
Tasa de trabajadores en agricultura, forestación, pesca del total de empleo	39,1	42,9	43,2
Tasa de desempleo	2,3	1,7	2,0

Fuente: INE

**(3) Tasa de pobreza, Ingreso y Gasto Familiar**

Mas del 70% del total de hogares son pobres tanto en La Paz (70,8%) y en Oruro (70,6%). Particularmente, las tasa de pobreza en el área rural son bastante altas 95,5% en La Paz y 93,2% en Oruro.



### Indicadores de pobreza

(%)

	La Paz	Oruro	Bolivia
Tasa de pobreza de los hogares (1992)	70,8	70,6	70,2
Tasa urbana de pobreza de los hogares (1993)	56,0	55,3	51,1
Tasa rural de pobreza de los hogares (1993)	95,5	93,2	94,0

Nota: La definición de pobreza corresponde al mapa de pobreza de Bolivia.

Fuente: INE 1998 y Mapa de Pobreza 1993

De acuerdo con nuestra investigación realizada durante la primera visita de campo en 1999, el promedio mensual del ingreso de los hogares de las comunidades meta del sistema FV era de Bs.253, 3 en La Paz y Bs.183, 8 en Oruro. Mientras que el gasto mensual era de Bs.252, 8 en La Paz y Bs.177, 1 en Oruro. Los gastos mensuales en energía fueron relativamente altos de Bs. 24,9 (9,8% del total del gasto) en La Paz y Bs. 21,4 (12,1%) en Oruro.

### Ingresos & Gastos Familiares (1999)

(Bs.)

	Comunidades meta de FV en La Paz	Comunidades meta de FV en Oruro
Ingreso promedio mensual	253,3	183,8
Gasto mensual	252,8	177,1
Gasto mensual en energía	24,9	21,4

Fuente: Equipo de Estudio JICA

## 4.2 Tendencia de la Electrificación Rural e Inversión

La siguiente tabla resume la tendencia de las tasas de electrificación rural y los montos de inversión en los departamentos de La Paz y Oruro de acuerdo a VMEH. Gracias a la participación del sector público y al propio crecimiento vegetativo de los sistemas en operación, las tasas de electrificación rural han crecido significativamente en ambos departamentos, creciendo en 25.5% en La Paz y 15.4% en Oruro respectivamente.

**Tasa de electrificación Rural en La Paz y Oruro**

	1998	1999	2000
<b>La Paz</b>			
Tasa de ER (%)	18,6%	22,5%	25,5%
Viviendas HHs con electricidad	45.237	54.906	59.515
Inversión (US\$ 1.000)	6.073	2.672	1.138
<b>Oruro</b>			
Tasa de ER (%)	10,3%	12,6%	15,4%
Viviendas con electricidad	6.437	7.894	9.634
Inversión (MUS\$)	648	2.905	1.355

Fuente: VMEH

### 4.3 Situación Actual de la Electrificación Rural

#### 4.3.1 Extensión de la Red

En vista de que no existe un mapa oficial de la red eléctrica en ninguno de los dos departamentos, dichos mapas fueron preparados usando los últimos mapas preparados por el VMEH, con información de las dos prefecturas y las compañías de distribución de electricidad. Las figuras 4.1 y 4.2 son los mapas de las líneas de transmisión (69 kV, 115 kV y 230 kV) y las líneas de distribución primaria (10 kV, 14.4 kV, 24.9 kV y 34.5 kV) en los departamentos de La Paz y Oruro en el 2000.

En el departamento de La Paz, las principales líneas de transmisión de 115 kV se extienden desde la ciudad de La Paz hacia el Noreste de la Provincia de Caranavi y hacia abajo al Sudeste de las Provincias de Aroma y Loayza. Las principales líneas de distribución son las de 14.4 kV, 24.9 kV y 34.5 kV, las cuales están instaladas en la extensa área entre el Noroeste del departamento hacia el sur de la ciudad de La Paz. El Sudeste, Este y Norte del Departamento de La Paz así como el Norte de la ciudad de La Paz esta íntegramente cubierto por redes eléctricas.

En el Departamento de Oruro, únicamente las áreas cerca de la ciudad de Oruro, es decir, el Noreste del departamento tiene líneas de transmisión de 115kV. Las principales líneas primarias de distribución son de 24.9kV, las cuales están instaladas desde la ciudad de Oruro hacia el Suroeste de la Provincia Litoral y al Sud de la ciudad de Oruro hacia la Provincia Avaroa. Al año 2000, el resto del departamento, es decir el Oeste y Sur del departamento no tienen redes eléctricas.

### **4.3.2 Uso de la Energía Renovable**

Al presente, el uso de la energía renovable esta limitado a las pequeñas centrales hidroeléctricas y sistemas FV en La Paz y Oruro. No hay experiencia en el desarrollo de la energía usando la biomasa, a pesar de que el Departamento de La Paz cuenta con recursos substanciales. En esta subsección, se explica la situación actual de micro centrales hidroeléctricas y de sistemas FV.

#### **(1) Inventario de Micro Centrales Hidroeléctricas**

El recurso hidroeléctrico ha sido bien desarrollado en la Paz. Existen 23 micro centrales hidroeléctricas en operación con una capacidad instalada de 1.084 kW y 7.161 familias beneficiarias. Sin embargo, en Oruro, únicamente existen dos micro centrales hidroeléctricas que suministran electricidad a 170 hogares con una capacidad instalada de 200 kW.

El inventario de micro centrales hidroeléctricas en La Paz y Oruro es resumido y presentado en la Tabla 4.1.

Además de lo expuesto, muchos proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas se encuentran en planificación, con una capacidad instalada que alcanza los 3.800 kW en La Paz y los 650 kW en Oruro.

#### **(2) Inventario del Sistema FV**

Los sistemas FV instalados en La Paz y Oruro son básicamente del tipo domestico para la iluminación de las casas. Ningún otro tipo de sistema FV ha sido identificado excepto algunos sistemas solares para bombeo de agua.

El inventario de sistemas FV en La Paz y Oruro es resumido en la siguiente tabla. USAID instalo 480 sistemas en Oruro. El Programa español instaló 246 sistemas domiciliarios en La Paz y 500 sistemas en Oruro. Adicionalmente, 200 sistemas en La Paz y 100 sistemas en Oruro fueron instalados a través del proyecto piloto JICA.

**Inventario del Sistema FV (a Junio de 2001)**

(Unidad: numero de sistema FV)

Departamento Organización	La Paz	Oruro
USAID		480
Programa Español	246	500
JICA	200	100
Total	446	1,080

Capacidad del Sistema: 50Wp~55Wp

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

Los sistemas solares domésticos instalados tanto en La Paz como en Oruro suman en total 1.526, alcanzando una capacidad instalada de aproximadamente 80kW a junio de 2001.

#### **4.4 Hogares Meta y Demanda Potencial para la Electrificación Rural**

##### **4.4.1 Hogares meta y Electrificación Rural**

Aquellas comunidades con menos de 2.000 habitantes según el INE para el Censo de 1992 son definidas como 'rurales' mientras que aquellas con mas de 2.000 habitantes son llamadas 'urbanas'.. (La comunidad es la unidad administrativa más pequeña que se tiene en un Cantón). Los hogares metas en las áreas rurales (numero total de hogares en las áreas rurales) para La Paz y Oruro son estimados mediante la resta de hogares de las áreas urbanas del total de hogares para cada cantón. La siguiente tabla muestra las cifras de los hogares meta y la cantidad de hogares rurales sin electrificación en el año 2000, los cuales han sido usados como base para la proyección del futuro plan de electrificación rural. La lista de los hogares meta, que incluye la población rural, el total de hogares rurales, así como los hogares con y sin electricidad de cada cantón en los departamentos de La Paz y Oruro hasta el año 2000 es presentada en el Informe del Apéndice. A fines del 2000, hay 436 y 160 cantones rurales en La Paz y en Oruro respectivamente.

**Hogares metas y hogares sin  
Electricidad en las áreas Rurales año 2000**

	La Paz	Oruro
Hogares Rurales Meta (No. Total de Hogares Rurales)	233,202	62,566
No. de Hogares Rurales sin Electricidad	174,724	53,690

Fuente: VMEH

Nota: Estas cifras están ajustadas sobre la base de cifras agregadas de cada cantón y son ligeramente diferentes de las cifras oficiales del VMEH.

El número de hogares rurales de cada cantón es proyectado sobre la base de las tendencias del pasado. Se proyecta un ligero decrecimiento del número total de los hogares rurales tanto en La Paz como en Oruro como se puede ver en la siguiente tabla. Esto se debe principalmente a la emigración de las áreas urbanas y a la baja tasa de crecimiento de la población en las áreas rurales.

**Proyección del Numero Total de Hogares Rurales**

	2002	2006	2011
La Paz	232,629	231,879	231,669
Oruro	61,981	60,846	59,473

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

**4.4.2 Demanda Potencial de Electricidad**

La demanda de electricidad en las áreas rurales de los departamentos de La Paz y Oruro se estimó sobre la base de las cifras proyectadas de los hogares rurales con los siguientes supuestos y condiciones:

- 1) El año base es el 2000.
- 2) La demanda actual de los hogares con electricidad fue estimada mediante la aplicación de los siguientes consumos promedio a la cantidad de hogares meta:
  - Hogares electrificados a través de redes eléctricas, sistemas de diesel y de micro centrales hidroeléctricas: 300 kWh/año
  - Hogares electrificados a través de sistemas FV: 65 kWh/año

- 3) La demanda de energía eléctrica de los hogares que ya cuentan con electricidad al año 2000 se incrementará con una tasa de crecimiento del orden del 2% después del 2002;
- 4) La demanda potencial de energía de los hogares sin electricidad fue estimada con un consumo promedio de 300 kWh al número de hogares sin electricidad.
- 5) El 60% de los hogares sin electrificación son contados como demanda efectiva.
- 6) La demanda total es la cifra resultante de la demanda de hogares con electricidad en el área rural y la demanda efectiva.

Las siguientes tablas son el resumen de la demanda de energía eléctrica en las áreas rurales de los dos departamentos. En La Paz, la demanda total de electricidad es estimada en 48.321 MWh en el año 2000 y se espera que aumente a 52.009 MWh en el año 2006 y a 54.534 MWh para el año 2011. En Oruro, es 11,944 MWh para el año 2002 y se espera que aumente hasta 12,573 MWh el año 2006 y 12,732 MWh el año 2011.

#### Demanda de Energía Eléctrica en las áreas Rurales (MWh/Año)

##### La Paz

	2000	2002	2006	2011
Numero total de	233,202	232,629	231,879	231,669
Nº. existente de Hs c/elect.	59,039	58,894	58,704	58,651
Demanda de Hs. existents	16,972	16,930	18,267	20,150
No. potencial de Hsf Rurales a ser elect.	174,163	173,735	173,175	173,018
Demanda efectiva de elect.	31,349	31,272	33,741	34,385
Total Demanda por electrificar	48,321	48,202	52,008	54,534

##### Oruro

	2000	2002	2006	2011
Numero Total de Hogares	62,566	61,981	60,846	59,473
No. de Hs c/electricidad	8,887	8,804	8,643	8,448
Demanda de Hs existentes con	2,281	2,260	2,402	2,592
No. Potencial de Hs. rurales a ser elect.	53,679	53,177	52,203	51,025
Demanda efectiva de elect.	9,662	9,572	10,171	10,140
Demanda total de elect.	11,944	11,832	12,573	12,732

Fuente: Equipo de Estudio de JICA y VMEH

## **4.5 Implementación y Organización de Proyectos**

### **4.5.1 Proceso de Implementación Proyectos**

Los gobiernos locales incluyendo prefecturas y municipalidades, se constituyen en principio, en entidades ejecutoras de la electrificación rural bajo las normas y estrategias de desarrollo rural vigentes.

Los usuarios podrían constituirse en promotores y organizar un comité o cooperativa rural de electrificación y solicitar a la Prefectura la implementación de un proyecto de electrificación rural a través de la municipalidad. La implementación del proyecto podrá ser llevada a cabo después del estructurar y comprometer el financiamiento.

- (a) El gobierno central, a través del VIPFE, FPS y FNDR canalizan recursos a los gobiernos locales para proyectos de electrificación rural.
- (b) El gobierno local realiza la licitación pública para la implementación del proyecto.
- (c) Un contratista o proveedor participa en la licitación.
- (d) El gobierno local selecciona un contratista o proveedor y adjudica el contrato.
- (e) El gobierno local supervisa la construcción e instalación.
- (f) Los beneficiarios apoyan con mano de obra para los trabajos de construcción, como es en el caso de los proyectos de micro centrales hidroeléctricas.

### Proceso de Implementación de un Proyecto de Electrificación Rural



#### 4.5.2 Organización para la Operación y Mantenimiento

Las siguientes organizaciones son responsables de la operación y mantenimiento de la electrificación rural luego del traspaso de la responsabilidad para la operación y mantenimiento por parte del gobierno local.

Fuente de Energía	Organización para la Operación y Mantenimiento
Red eléctrica	Compañía distribidora o Cooperativa de Electrificación
Generación a Diesel	Municipalidad, Cooperativa de Electrificación
Micro central hidroeléctrica	Cooperativa de Electrificación, Comité de Electrificación Rural
Sistema FV	Cooperativa de electrificación, Comité Rural de electrificación, ONG y Usuarios

Una pequeña cooperativa de electrificación y un comité rural de electrificación generalmente cuentan con capacidad técnica limitada para la operación y mantenimiento, estos requerirán asistencia técnica de un consultor/ONG o proveedor cuando se necesitan reparaciones mayores.

##### (1) Caso de OM por la Municipalidad

La Municipalidades no deberían tomar a cargo la operación y mantenimiento de los proyectos de electrificación rural, tal como sucede en la Municipalidad de Charaña de la Paz y en la de Salinas en Oruro, siendo otras sus competencias establecidas por ley.



En el caso de Charaña, el costo del proyecto de generación a diesel fue financiado por la municipalidad. La operación diaria y el mantenimiento están a cargo de un operador empleado por la municipalidad. Un ingeniero mecánico es llamado para el mantenimiento cuando se presentan problemas.

La situación financiera para la operación y mantenimiento es muy ajustada debido al precio elevado del diesel oil. Aproximadamente el 60% de los costos totales de operación y mantenimiento del sistema es cubierto por el presupuesto municipal.

## (2) Caso de O&M a cargo del Comité Rural de Electrificación

Los proyectos de micro centrales hidroeléctricas en el área de los Yungas de La Paz son administrados por comités de electrificación rural (CER) ya establecidos, son responsables de la operación y mantenimiento, así como fungen de agentes ejecutores contando con apoyo técnico y administrativo de la UMSA y de una ONG local.

Un técnico local del CER es capacitado por la UMSA y la ONG local, jugando un papel importante en la operación y mantenimiento del sistema. El apoyo técnico y administrativo continuo de la UMSA y de la ONG local es requerido por el CER.

### Organigrama de Operación para el Micro Centrales Hidroeléctricas

