

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**CENTRAL HIDROELECTRICA DE LIMBANI - PHARA,**  
**PROVINCIA DE SANDIA - PUNO**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecánico Electricista

**JUAN NECIFORO PEÑA CORTEZ**

Promoción 1983 - I

Lima - Perú  
1987

## EXTRACTO

La presente Tesis "CENTRAL HIDROELECTRICA DE LIMBANI-PHARA PROVINCIA DE SANDIA-PUNO". Ha sido desarrollado por el Bachiller de Ciencias en INGENIERIA ELECTRICA, JUAN NECIFORO PEÑA CORTEZ, para optar el título profesional de Ingeniero MECANICO-ELECTRICISTA, en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, Lima - 1987.

Un resumen del estudio realizado es el siguiente:

### 1.0 UBICACION:

|              |   |         |
|--------------|---|---------|
| Departamento | : | Puno    |
| Provincia    | : | Sandia  |
| Distrito     | : | Limbani |

### 2.0 ENTIDAD RESPONSABLE:

Electroperú S.A., Sub-Gerencia de Electrificación Provincial, Distrital y Rural. UPE - PUNO.

### 3.0 MICROREGION:

La microregión está comprendido por el área urbana con los distritos: Limbani, Phara y Patambuco; y el área rural con las comunidades: Huancasayani, Cullu cachi, Chejani, Comunidad, Cahuichana, Toldollueri, Ccrahuana y Canu canu. El número de habitantes en el año de 1986 fué:

|             |   |                   |
|-------------|---|-------------------|
| Area Urbana | : | 2,338 habitantes. |
| Area Rural  | : | 3,255 Habitantes. |

### 4.0 CONDICIONES AMBIENTALES:

Las condiciones ambientales en el lugar de las obras son aproximadamente las siguientes:

Presión Barométrica a 15 °C : 6,32 m. de agua  
 Lluvia anual promedio : 939,2 mm.  
 Temperatura máxima anual promedio : 15 °C.  
 Temperatura mínima anual promedio : 7 °C.  
 Temperatura anual promedio : 12 °C.  
 Humedad relativa anual promedio : 75 %

## 5.0 VÍAS DE COMUNICACION:

| <u>Localidad:</u> | <u>Distancia:</u> | <u>Vía:</u> |
|-------------------|-------------------|-------------|
| Puno = Juliaca    | 42 km.            | Asfaltada   |
| Juliaca = Limbani | 260 km.           | Afirmada    |

## 6.0 CARACTERISTICAS DEL ESQUEMA HIDROELECTRICO:

### 6.1 Generalidades:

Recurso Hídrico : Río Huancasayani  
 Caudal : 0,500 m<sup>3</sup>/seg.  
 Caída neta : 124,8 m.  
 Potencia Instalada : 502 kW.

### 6.2 Características de las obras civiles

#### Obras de Captación:

Comprende el Barraje de Derivación, la Bocatoma y el Desarenador. La Bocatoma se ubica en la margen izquierda del río Huancasayani a unos 1000 metros aguas arriba de la confluencia de los ríos Huancasayani y Chinchelamani. El Barraje es del tipo rústico y perpendicular al cauce del río.

A continuación describimos las características del Desarenador:

Cota de Elevación : 3550,56 m.s.n.m  
 Longitud efectiva : 10,50 m.  
 Ancho : 2,10 m.  
 Profundidad media : 1,80 m.  
 Velocidad del agua : 0,13 m/seg.

### Canal de Conducción:

Se presenta 2 tipos de canal, el de forma trapezoidal 0-300 m. y 500-980 m. de trazo del canal, de forma rectangular para el tramo 300-500 m. El canal será revestido con concreto.

#### A. TRAMO 0-300 m., canal trapezoidal:

|                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| Caudal                         | : 0.50 m <sup>3</sup> /seg |
| Pendiente del canal            | : 1/500                    |
| Rugosidad "n" de Manning       | : 0,025                    |
| Tirante en el canal            | : 0,60 m.                  |
| Borde libre                    | : 0,20 m.                  |
| Ancho de solera del canal      | : 1,38 m.                  |
| Ancho de base mojada del canal | : 0,69 m.                  |
| Angulo de talúd del canal      | : 60 °S.                   |
| Radio hidráulico               | : 0,30 m.                  |
| Velocidad del agua             | : 0,81 m/seg               |

#### B. TRAMO 300-500 m., canal rectangular:

|                          |                            |
|--------------------------|----------------------------|
| Caudal                   | : 0,50 m <sup>3</sup> /seg |
| Pendiente del canal      | : 1/200                    |
| Rugosidad "n" de Manning | : 0.025                    |
| Tirante en el canal      | : 1,02 m.                  |
| Borde libre              | : 0,20 m.                  |
| Ancho del canal          | : 0,51 m.                  |
| Radio hidráulico         | : 0,204 m.                 |
| Velocidad del agua       | : 0,98 m/seg               |

#### C. TRAMO 500-980 m., canal trapezoidal:

|                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| Caudal                         | : 0,50 m <sup>3</sup> /seg |
| Pendiente del canal            | : 1/500                    |
| Rugosidad "n" de Manning       | : 0,025                    |
| Tirante en el canal            | : 0,59 m.                  |
| Borde libre                    | : 0,20 m.                  |
| Ancho de solera del canal      | : 1,22 m.                  |
| Ancho de base mojada del canal | : 0,90 m.                  |

|                           |              |
|---------------------------|--------------|
| Angulo de talúd del canal | : 75 °S.     |
| Radio hidráulico          | : 0,29 m.    |
| Velocidad del agua        | : 0,80 m/seg |

**Camara de carga y Reservorio de regulación:**

|                                      |                        |
|--------------------------------------|------------------------|
| Cota de elevación                    | : 3548 msnm.           |
| Ancho de la cámara                   | : 2,90 m.              |
| Longitud de la cámara                | : 19,0 m.              |
| Carga de agua en el eje de tubería:  | 3,20 m.                |
| Borde libre                          | : 0,20 m.              |
| Longitud de aliviadero               | : 12,0 m.              |
| Volúmen de almacenamiento            | : 180 m <sup>3</sup> . |
| Tirante en el canal de desarenación: | 4,0 m.                 |
| Ancho del canal de desarenación      | : 1,0 m.               |

**Tubería de Presión:**

La tubería será enterrada y es del tipo hiperestático.

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Caudal                | : 0,55 m <sup>3</sup> /seg             |
| Longitud              | : 240 m.                               |
| Diámetro nominal      | : 0,60 m.                              |
| Espesor de la tubería | : 6,35 mm.                             |
| Material              | : Acero, con plancha<br>ASTM A283 GR C |
| Salto Bruto           | : 128 m.                               |
| Velocidad del agua    | : 2,00 m/seg                           |

**Casa de Máquinas:**

|                   |                          |
|-------------------|--------------------------|
| Cota de elevación | : 3420 msnm.             |
| Dimensiones       | : 11,4 X 7,10 m.         |
| Area de la casa   | : 80,94 m <sup>2</sup> . |

**Canal de Descarga:**

|                          |                            |
|--------------------------|----------------------------|
| Caudal                   | : 0,275 m <sup>3</sup> /s. |
| Pendiente del canal      | : 1/500                    |
| Rugosidad "n" de Manning | : 0,025                    |

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| Tirante en el canal | : 0,46 m.    |
| Borde libre         | : 0,24 m.    |
| Ancho del canal     | : 0,60 m.    |
| Radio hidráulico    | : 0,180 m.   |
| Velocidad del agua  | : 0,60 m/seg |

### 6.3 Características del Equipo Electromecánico:

#### Generales:

|  |          |
|--|----------|
| Número de Grupos                           | : 2      |
| Capacidad del Grupo (Bornes del generador) | : 251 kW |
| Potencia Instalada en la central           | : 502 kW |
| Puesta en Operación (año)                  | : 1988   |
| Periodo de Operación (años)                | : 25     |

#### Turbinas:

|                      |  |
|----------------------|--|
| Número de Turbinas   | : 2  |
| Tipo                 | : Francis - eje horizontal -<br>1 rueda - 1 descarga - Lenta |
| Velocidad            | : 1800 RPM   |
| Potencia al eje      | : 274,0 kW<br>(373 CV)                                       |
| Rendimiento total    | : 0,82   |
| Velocidad Específica | : 83,3 rpm   |

#### Generador:

|                    |   |
|--------------------|---|
| Tipo               | : Autoexcitado, sin escobillas y Regulador automático de Tensión. |
| Capacidad Nominal  | : 375 kVA   |
| Frecuencia         | : 60 Hz   |
| Velocidad          | : 1800 RPM  |
| Tensión Nominal    | : 230 V.  |
| Factor de Potencia | : 0,8   |
| Rendimiento        | : 91,7 %  |
| Potencia Efectiva  | : 251 kW.   |

Subestación Elevadora (Transformador):

Numero de Unidades : 1  
Altitud : 4000 msnm  
Tipo de servicio : Superficie, autorefrig.  
Relación de transf.kV : 0,23/22,9-13,2  $\pm$ 2X 2,5%  
Potencia o capacidad : 500 kVA  
Fases : 3  $\emptyset$   
Frecuencia : 60 Hz  
Factor de potencia : 0,85  
Tensión de cortocirc. : 4,5 %  
Grupo de conexión : Dyn 5

7.0 ASPECTOS ECONOMICOS:

Costo de construcción total(jul-86): 577 171 \$USA  
Costo Unitario del proyecto : 1 154 \$USA/kW  
Valor Actual Neto ( a 12%) : - 50 272 \$USA  
Relación Beneficio/Costo(12%) : 0,86  
Tasa Interna de Retorno : 10,64 %  
Relación costos Térmico/Hidráulico (12%) : 1,512

TABLA DE CONTENIDOS

|   | Pag. |
|---|------|
| <b>PROLOGO</b>  |      |
| <b>I. INTRODUCCION</b>  |      |
| 1.1 Referencia General.   | 19   |
| 1.2 Antecedentes.   | 19   |
| 1.3 Alcances.   | 20   |
| <b>II. AREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO</b>                      |      |
| 2.1 Generalidades.  | 23   |
| 2.2 Definición del área de Influencia.                          | 23   |
| 2.3 Descripción del área de Influencia.                         | 24   |
| 2.3.1 Acondicionamiento Territorial.                            | 24   |
| 2.3.2 Infraestructura de Servicios.                             | 26   |
| 2.3.3 Aspectos Sociales.  | 27   |
| 2.3.4 Aspectos Económicos.                                      | 28   |
| <b>III. ESTUDIO DEL MERCADO ELECTRICO</b>                       |      |
| 3.1 Generalidades.  | 30   |
| 3.2 Mercado Eléctrico.  | 30   |
| 3.2.1 Oferta de Energía Eléctrica.                              | 30   |
| 3.2.2 Estudio de la Demanda de Energía Eléctrica.               | 31   |
| 3.2.2.1 Sector Domestico y Alumbrado Público.                   | 32   |
| 3.2.2.2 Sector Comercial.                                       | 35   |
| 3.2.2.3 Sector Industrial.                                      | 36   |
| 3.2.2.4 Sector Cargas Especiales.                               | 37   |
| 3.2.2.5 Consumo Neto Total de Energía.                          | 37   |
| 3.2.2.6 Consumo Bruto Total de Energía.                         | 37   |
| 3.2.2.7 Máxima Demanda de Potencia.                             | 38   |
| 3.2.2.8 Máxima Demanda Total del PSE.                           | 39   |
| <b>IV. ESTUDIOS BASICOS Y ESQUEMA HIDROELECTRICO DEFINITIVO</b> |      |
| 4.1 Generalidades.  | 44   |



|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.2   | Reconocimiento de Alternativas y Elección. | 45 |
| 4.2.1 | Alternativa Limbani 1-A                    | 46 |
| 4.2.2 | Alternativa Limbani 1-B                    | 47 |
| 4.2.3 | Alternativa Limbani 2                      | 48 |
| 4.2.4 | Alternativa Phara.                         | 49 |
| 4.2.5 | Elección de la Alternativa Óptima.         | 51 |
| 4.3   | Hidrología y Meteorología.                 | 52 |
| 4.3.1 | Generalidades.                             | 52 |
| 4.3.2 | Precipitación.                             | 52 |
| 4.3.3 | Caudal Firme.                              | 53 |
| 4.3.4 | Topografía.                                | 56 |
| 4.3.5 | Geología                                   | 57 |
| 4.4   | Potencial Hidroeléctrico.                  | 61 |
| 4.5   | Equipamiento de la Central Hidroeléctrica. | 62 |

## V. INGENIERIA DEL PROYECTO

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 5.1     | Obras Civiles.                              | 65  |
| 5.1.1   | Generalidades.                              | 65  |
| 5.1.2   | Obras de Captación.                         | 66  |
| 5.1.2.1 | Barraje de Derivación.                      | 66  |
| 5.1.2.2 | Bocatoma.                                   | 67  |
| 5.1.2.3 | Desarenador.                                | 69  |
| 5.1.3   | Canal de Conducción.                        | 71  |
| 5.1.3.1 | Canal Rectangular.                          | 74  |
| 5.1.3.2 | Canal Trapezoidal.                          | 76  |
| 5.1.4   | Cámara de Carga y Reservorio de Regulación. | 78  |
| 5.1.5   | Tubería de Presión.                         | 82  |
| 5.1.5.1 | Número de Tuberías.                         | 83  |
| 5.1.5.2 | Cálculo del Salto Neto.                     | 84  |
| 5.1.5.3 | Cálculo del diámetro Económico de Tubería.  | 90  |
| 5.1.5.4 | Espesor de la Tubería de Presión            | 95  |
| 5.1.5.5 | Cálculo del Golpe de Ariete.                | 95  |
| 5.1.6   | Casa de Maquinas.                           | 102 |
| 5.1.7   | Canal de Descarga.                          | 103 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 5.2     | Equipo Hidroeléctrico.                            | 104 |
| 5.2.1   | Turbina.  | 104 |
| 5.2.1.1 | Selección del tipo de turbina.                    | 105 |
| 5.2.1.2 | Cálculo de la Potencia Turbinada.                 | 106 |
| 5.2.1.3 | Velocidad Específica.                             | 107 |
| 5.2.1.4 | Dimensiones Básicas de la Turbina                 | 110 |
| 5.2.2   | Regulador de Velocidad.                           | 117 |
| 5.2.3   | Generador.  | 119 |
| 5.2.3.1 | Selección del Generador.                          | 119 |
| 5.2.3.2 | Excitación del Generador                          | 121 |
| 5.2.3.3 | Regulador de Tensión.                             | 122 |
| 5.2.3.4 | Potencia Generada.                                | 124 |
| 5.2.3.5 | Operación en Paralelo.                            | 125 |
| 5.2.4   | Subestación Elevadora.                            | 126 |
| 5.2.4.1 | Número de Transformadores.                        | 128 |
| 5.2.4.2 | Nivel de Potencia.                                | 129 |
| 5.2.5   | Equipo Auxiliar y de Protección.                  | 132 |
| 5.2.5.1 | Cálculo de la corriente de corto circuito.        | 133 |
| 5.2.5.2 | Cálculo de la Barra de Baja Tensión.              | 139 |
| 5.2.5.3 | Selección de Equipos de la Subestación Elevadora. | 143 |
| 5.2.5.4 | Sistema de Puesta a Tierra.                       | 146 |
| 5.2.6   | Servicios Auxiliares.                             | 148 |
| 5.3     | Líneas de Distribución.                           | 149 |
| 5.3.1   | Subestaciones de Distribución.                    | 150 |
| 5.3.2   | Línea Primaria y Redes de Distribución Primaria.  | 151 |

## VI. EVALUACION ECONOMICA

|         |                                   |     |
|---------|-----------------------------------|-----|
| 6.1     | Generalidades.                    | 155 |
| 6.2     | Análisis Económico Nacional.      | 156 |
| 6.2.1   | Premisas Consideradas.            | 158 |
| 6.2.2   | Beneficios del Proyecto.          | 159 |
| 6.2.2.1 | Ingresos por la Venta de energía. | 159 |
| 6.2.2.2 | Excedente del Consumidor.         | 159 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 6.2.2.3 | Valor Residual.                         | 161 |
| 6.2.2.4 | Beneficios de los Recursos Desplazados. | 161 |
| 6.2.2.5 | Beneficios Brutos Totales.              | 161 |
| 6.2.3   | Costos Nacionales del Proyecto.         | 162 |
| 6.2.3.1 | Costos de los Recursos Asignados.       | 162 |
| 6.2.3.2 | Costos de los Recursos Desplazados.     | 164 |
| 6.2.3.3 | Costos Nacionales Totales.              | 164 |
| 6.2.4   | Los Indicadores Beneficio-Costo.        | 165 |
| 6.2.5   | Análisis de Sensibilidad.               | 165 |
| 6.3     | Comparación con la Alternativa Térmica. | 175 |

## VII. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 7.1   | Especificaciones para Ingeniería Civil-Materiales y construcción.                          | 180 |
| 7.1.1 | Generalidades.   | 180 |
| 7.1.2 | Obras Preliminares.  | 180 |
| 7.1.3 | Desbroce y Limpieza.   | 181 |
| 7.1.4 | Excavaciones.  | 181 |
| 7.1.5 | Concreto.  | 182 |
| 7.1.6 | Obras de Manpostería.  | 185 |
| 7.2   | Especificación para la fabricación y el montaje de la Tubería de Presión.                  | 186 |
| 7.2.1 | Generalidades.   | 186 |
| 7.2.2 | Condiciones de Operación.  | 187 |
| 7.2.3 | Información sobre diseño y detalles de fabricación,  | 187 |
| 7.2.4 | Materiales de Construcción.  | 189 |
| 7.2.5 | Fabricación y Tolerancias.   | 190 |
| 7.2.6 | Inspección y prueba.   | 191 |
| 7.2.7 | Prueba Hidrostática.   | 191 |
| 7.2.8 | Pintado y Protección Anticorrosiva.  | 191 |
| 7.2.9 | Preparación y Embarque a Obra.   | 192 |
| 7.3   | Especificaciones para el suministro montaje e instalación del Equipo Eléctrico y Mecánico. | 194 |
| 7.3.1 | Generalidades.   | 194 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 7.3.2   | Alcance detallado de los trabajos eléctricos. | 195 |
| 7.3.2.1 | Equipo provisto por Electroperu               |     |
| 7.3.2.2 | Equipo provisto por el Contratista.           | 200 |
| 7.3.3   | Alcance detallado de los trabajos mecánicos.  | 202 |
| 7.3.3.1 | Equipo provisto por Electroperu               |     |
| 7.3.3.2 | Equipo provisto por el Contratista.           | 204 |
| VIII.   | CRONOGRAMA DE LA OBRA                         | 206 |
| IX .    | METRADO Y PRESUPUESTO                         | 207 |
|         | CONCLUSIONES                                  | 217 |
|         | BIBLIOGRAFIA                                  | 221 |
|         | PLANOS  |     |
|         | APENDICE                                      |     |

RELACION DE CUADROS

| <u>Número</u> | <u>Descripción</u>  |
|---------------|---|
| 3.1           | Mercado Eléctrico: Centros Poblados del área de Influencia del proyecto.                  |
| 3.2           | Cálculo de la Máxima Demanda Urbana del Proyecto.   |
| 3.3           | Cálculo de la Máxima Demanda Rural del Proyecto.  |
| 3.4           | Cálculo de la Máxima Demanda Total del Proyecto.  |
| 4.1           | Datos de Precipitaciones atmosféricas.  |
| 5.1           | Velocidad Específica de Turbinas Francis.   |
| 5.2           | Velocidad sincrónica de Generadores.  |
| 5.3           | Potencia Nominal de Transformadores.  |
| 5.4           | Sobrecarga de transformadores de Distribución.  |
| 5.5           | Potencia de S.S.KK. de Distribución.  |
| 5.6           | Factores de Caída de Tensión.   |
| 5.7           | Factores de Pérdida de Potencia.  |
| 5.8           | Hoja de cálculo de caída de tensión y pérdida de pot.                                     |
| 6.1           | Demanda de Potencia y Venta de Energía.   |
| 6.2           | Energía a sustituir con el Proyecto y determinación del precio de la energía sustituible. |
| 6.3           | Resumen de los ingresos por venta de energía y del consumidor.                            |
| 6.4           | Costos de Inversión a precios de mercado.   |
| 6.5           | Costos de Inversión a precios sombra.   |
| 6.6           | Costos de Operación y Mantenimiento.  |
| 6.7           | Cronograma de Inversiones a precio de mercado.  |
| 6.8           | Cronograma de Inversiones a precios sombra.   |
| 6.9           | Flujo de caja económico.  |
| 6.10          | Alternativa Hidráulica Flujo de Costos.   |
| 6.11          | Alternativa Térmica Equivalente.  |
| 6.12          | Indicadores de las Alternativas Hidráulica y Térmica.                                     |

RELACION DE PLANOS

| <u>Número</u> | <u>Descripción</u>                            |
|---------------|---|
| L.01/86       | Levantamiento Topográfico y Perfil            |
| L.02/86       | Secciones Transversales al eje del canal.     |
| L.03/86       | Bocatoma y Desarenador.                       |
| L.04/86       | Cámara de carga y Reservorio de Regulación.   |
| L.05/86       | Tubería de Presión.                           |
| L.06/86       | Planta casa de fuerza, disposición de equipos |
| L.07/86       | Elevación y cortes de la casa de fuerza.      |
| L.08/86       | Diagrama Unifilar Principal.                  |

RELACION DE LAMINAS

| <u>Número</u> | <u>Descripción</u>   |
|---------------|--|
| 3.1           | Plano de Ubicación.  |
| 3.2           | Coeficiente de Electrificación.                                |
| 3.3           | Proyección de la Máxima Demanda y Consumo.                     |
| 4.1           | Reconocimiento y Evaluación de Alternativas.                   |
| 4.2A          | Esquema de Obra, alternativa Limbani 1-A, 1-B                  |
| 4.2B          | Esquema de Obra alternativa Limbani 2, Phara                   |
| 4.3           | Plano del Proyecto.  |
| 4.4           | La cuenca Hidrográfica.  |
| 4.5           | Curva altura-gasto y precipitación anual.                      |
| 4.6           | Cauce del rio Huancasayani, estación de aforo                  |
| 4.7           | Diagrama cronológico, caudales mensuales y diarios.            |
| 4.8           | Carta Nacional Limbani Hoja 29-X                               |
| 4.9           | Plan de Equipamiento de la central y variación de la potencia. |
| 5.1           | Diagrama Unifilar PSE Limbani.                                 |
| 6.1           | Demanda de Energía y Excedente del Consumidor                  |

## PROLOGO

El objetivo principal del presente trabajo, ha sido el de propiciar la utilización de la Energía Hidroeléctrica como base para promover el desarrollo Rural del país, orientados a localidades que por su ubicación geográfica, se encuentran marginados de los servicios vitales de ésta energía, pero que sin embargo gozan de suficientes Potenciales Hidráulicos, aptos para la implementación de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

La evaluación y cuantificación del Potencial Hidráulico, requirió actividades como la identificación de sitios con caracter hidro-topográfico y geo-demografico, con la finalidad de atender a un grupo de localidades, que agrupados en un radio menor a los 30 km. su demanda fué superior a los 300 kW., en adelante a este grupo de localidades, nosotros le llamaremos La microregión "Limbani".

La ejecución de la obra, esta enmarcado en el Plan Nacional de Expansión de la Frontera Eléctrica, planificadas para el departamento de Puno. El costo de la obra asciende a 577 171 \$USA (julio-1986). El financiamiento será con los fondos provenientes del D.L. 163 y/o mediante Convenio con la Corporación Departamental de Puno.

El proyecto ha sido desarrollado, hasta el nivel de factibilidad y tiene una potencia instalada de 502 kW.

### AGRADECIMIENTOS:

Es muy difícil expresar mi agradecimiento al personal que labora, en la Sub-Gerencia de Electrificación, Provincial, Distrital y Rural de ELECTROPERU, muy especialmente a los que laboran en las oficinas del Convenio con la A.I.D. y el REINO UNIDO, que de uno u otro modo, han contribuido en la preparación del presente trabajo.

Reconozco y agradezco profundamente del Ing<sup>o</sup> Ubaldo Rosado quien como asesor hizo la revisión final de esta Tesis y dió sugerencias muy importantes para su culminación satisfactoria.

Tambien hago extensivo mi agradecimiento al Ing<sup>o</sup> David Montoya M. Jefe de la Unidad de Ampliación de la Frontera Eléctrica de Puno y al Ing<sup>o</sup> Helbert Arce CH. Gerente Técnico de la Empresa Regional de Electricidad ELECTRO SUR ESTE SA, quienes proporcionaron material suficiente para la evaluación del mercado eléctrico y el Potencial Hidráulico.



# I

## INTRODUCCION

### 1.1 REFERENCIA GENERAL:

El autor al desarrollar el presente trabajo ha pretendido presentar un instrumento muy sencillo, casi un formulario de aproximación al diseño de una Pequeña Central Hidroeléctrica, de ahí el carácter sintético. Obviamente esta aproximación nos obliga a dejar de lado algunos comentarios y demostraciones de las fórmulas que se emplean.

No se presentan elevadas dosis de originalidad en los planteamientos, justamente se ha hecho un esfuerzo en el sentido contrario, a fin de presentar soluciones prácticas para la aplicación de algunas tecnologías no convencionales aún no muy difundidas, como sería el empleo de la Bocatoma del tipo rústico, el uso de la cámara de carga como reservorio de regulación, el empleo del nivel de tensión 22,9/13,2 kV. para la red de distribución primaria y la utilización de alternadores sin escobillas del tipo autoexcitado.

### 1.2 ANTECEDENTES:

Es muy conocido que las minicentrales térmicas poseen una facilidad en su instalación y su costo inicial es relativamente bajo en comparación con su similar de origen hidráulico. Pero tomando en consi

deración los gastos de operación y mantenimiento, vemos que la ventaja anterior se invierte a favor de la generación hidráulica por ser la más económica. Así mismo como las tarifas se fijan a nivel nacional los costos de generación de origen térmico son de hasta 3 veces el valor de dicha tarifa, como resultado el suministro se limita en muchos casos a solo 4 horas diarias de servicio nocturno, constituyéndose por tanto un factor de frenaje para el desarrollo de los pueblos.

El proyecto propuesto está enmarcado dentro de la Ley General de Electricidad, que en uno de sus artículos recomienda propender la utilización del potencial energético de fuentes renovables, sustituyendo gradualmente el uso de hidrocarburos por hidroelectricidad y otros recursos no convencionales.

ELECTROPERU ha identificado microregiones donde se requiere urgentemente potencia eléctrica; una de estas es la microregión de Limbani. Originalmente, dicha microregión formó parte de la microregión de Sandia (según el estudio de Definición de Sandia), pero debido a la extensa línea de transmisión requerida desde Sandia, se dividió posteriormente la microregión en dos: Sandia y Limbani. Ambas ubicadas al nor-este del departamento en las zonas de ceja de selva alta.

### 1.3 ALCANCES:

Mediante la ejecución del proyecto se permitirá suministrar energía eléctrica a la microregión Limbani que está conformada por el área urbana con los distritos de: Limbani, Phara y Patambuco; y el área rural con las comunidades: Huancasayani, Cullocachi, Chejani, Comunidad, Cahuichana, Toldollueri, Coarahuana y Canu canu. En la provincia de Sandia, departamento de Puno.

El proyecto tiene por características: Recorrido del canal 890 metros, altura de caída neta 124.8 metros y un caudal firme de 0.55 m<sup>3</sup>/seg. Con lo que tendremos para la central una potencia instalada igual a 502 kW., mediante 2 grupos turbina-generador; la tensión de generación será a 230 V. y con la instalación de una sub-estación elevadora de 500 kVA, se conseguira distribuir la energía eléctrica a una tensión de 22.9 - 13.2 kV.

Un analisis corto del contenido del presente estudio es el que describimos a continuación.

El capitulo II; trata de una breve descripción geográfica y socio-económica de la microregión Limbani.

El capítulo III; describe la situación actual del servicio eléctrico en la microregión y se evalua la demanda eléctrica futura útil para el diseño de la central hidroeléctrica.

El capítulo IV; describe las alternativas del potencial hidráulico, se reconoce a la alternativa óptima y se evalua las características hidrológicas, topográficas y geológicas de explotación del recurso hidráulico. Asimismo se describe el Plan de Equipamiento de la central hidroeléctrica.

El capítulo V; se ocupa del diseño de la central hidroeléctrica, cuya potencia de generación es de 502 kW, la tensión de generación 230 V. y Tensión de distribución primaria 22.9 - 13.2 kV.

El capítulo VI; se efectua la evaluación económica del proyecto y se compara con la alternativa térmica equivalente.

El capítulo VII; cubre las especificaciones técnicas de los equipos y materiales, así como los cui-

datos que se tendrá en el montaje e instalación de la obra, asimismo se recomienda las pruebas necesarias que tendrán que realizarse antes de su puesta en operación.

El capítulo VIII; describe el cronograma de actividades programado para la ejecución del proyecto.

El capítulo IX; describe el metrado y presupuesto de obra útil para su ejecución correspondiente.

Los apéndices incluyen informaciones que sirven para el diseño de la Central. También se adjuntan láminas y planos válidos para su análisis y ejecución física correspondiente.

## II

### AREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

#### 2.1 GENERALIDADES:

En esta parte del estudio es preciso realizar algunos comentarios sobre la situación poblacional y social del Perú, para luego delimitarnos a lo que acontece en nuestra área de influencia del proyecto.

La población actual es de aproximadamente 20 millones con un crecimiento anual del 2,8%. Y Existe un desplazamiento significativo de las áreas rurales (donde habita el 30% de la población), hacia las ciudades. En lo que respecta a ocupaciones un 40% de la población laboral trabaja en el sector agrícola, 18% en la industria, 20% en comercio, y alrededor del 20% son empleados estatales.

En los últimos 10 años, la producción alimenticia per cápita ha decrecido en un 20% anual. El gobierno en su afán de invertir este proceso y detener el proce migratorio, viene tomando medidas correctivas, como la creación de los gobiernos regionales y el otorgamiento de amplias facilidades de crédito especialmente en el sector de agricultura.

#### 2.2 DEFINICION DEL AREA DE INFLUENCIA:

El área de influencia esta comprendido por la parte urbana con los distritos: Limbani, Phara, y Patambuco donde vivien 1607 habitantes (datos del censo de 1981). Asimismo la parte rural con las comunidades:

Huancasayani (Limbani); Cullocachi, Chejani, Comunidad Cahuichana, Toldollueri (Phara); Ccarahuana y Canucano (Patambuco); con una población de 2890 habitantes de acuerdo al mismo censo. En el cuadro No 3.1 se muestra las localidades participantes, su categoría, población, accesibilidad, etc.

Debido a su ubicación geográfica y topografía la localidad de Limbani, se define como el centro de la microregión, conformada por todas aquellas localidades cuya inclusión está condicionada a la alternativa del suministro eléctrico.

Al conjunto de estas localidades que conforman una microregión, para fines de aprovechamiento de un recurso energético lo denominamos "Pequeño Sistema Eléctrico" (PSE).-Un PSE es una agrupación de varias localidades con un único centro de generación (o subestación principal), siendo el suministro de la energía eléctrica, a través de Líneas Primarias de interconexión. Con las que propiciamos el desarrollo de las zonas próximas al centro de carga seleccionado, es decir considera una solución integral al problema del suministro eléctrico.

## 2.3 DESCRIPCION DEL AREA DE INFLUENCIA:

### 2.3.1 Acondicionamiento territorial:

#### Topografía:

El área de influencia del proyecto está enmarcado dentro de la topografía general de la región, por las zonas de cja de selva alta, caracterizada por la presencia de cerros y quebradas, que hacen de la misma una zona bastante accidentada.

Las localidades conformantes del PSE están a una altitud promedio de 3300 m.s.n.m. y localizadas por las coordenadas geográficas siguientes:

Latitud : 14°09' a 14°20' Sur  
Longitud : 69°43' a 69°37' Occident.

Clima:

Climatológicamente la región es frío, con marcadas variaciones entre el día y la noche con ambiente seco.

Las precipitaciones pluviales son continuos durante los meses de diciembre y enero, estando ausente en los otros meses, a excepción de los meses de febrero y marzo donde se presenta precipitaciones aisladas. La temperatura ambiente a lo largo del año varia entre los 7° y 15° aproximadamente.

Es notoria tambien la presencia de fuertes vientos, sobre todo en los meses de agosto y setiembre.

Hidrología:

Los recursos hídricos con que cuenta el área del proyecto, se manifiesta con la existencia de los rios Huancasayani y Chinchelamani, los mismos que dan origen al rio Limbani, afluente a su vez del rio Inambari. Estos rios se alimentan por los deshielos de los nevados y por las precipitaciones, los que se depositan en una serie de lagunillas que existen a lo largo de la cordillera del Carabaya, que circunda por el valle de SW a NE.

Accesibilidad:

El acceso a la localidad de Limbani tiene las siguientes características:

- De Puno a Juliaca : 42 km. de vía asfaltada.
- De Juliaca a Limbani : vía Pucara-Asillo-Crucero 260 km. de carretera afirmada

- De Limbani a Phara : 5 km. de carretera afirmada.
- De Limbani a Patambuco: 34 km. de trocha carrozable.

Existe otra vía por Saman-Putina-Hda. Cecilia pero esta vía en la mayor parte del año se muestra descuidada, y por su lejanía respecto de la primera no es la recomendada.

Estructura urbana:

La zona urbana de las localidades de Limbani Phara y Patambuco, muestra la presencia de calles, parques, plazas, y manzanas bien demarcadas. Los materiales usados en la construcción de sus viviendas son para las paredes: el adobe, ladrillo, concreto armado, bloquetas y piedras, y para los techos: la calamina y el ichu o paja.

2.3.2 Infraestructura de Servicios:

Servicios de saneamiento (agua-desague):

Las localidades de Limbani, Phara y Patambuco son las que cuentan con el servicio de agua potable a domicilio, las demás localidades no tienen. El servicio de desague solamente tiene Limbani, implicando con ello un peligro para la población especialmente los niños.

Servicios Sociales:

En lo que respecta al sector educación, las localidades de Limbani Phara y Patambuco son las que cuentan con un centro de educación inicial una escuela primaria y un colegio secundario. Las demás localidades de la microregión solamente cuentan con una escuela primaria, sin embargo la población adulta en su mayoría es analfabeta, dado que durante el día se dedican a las labores de la agricultura y al pastado



de sus ganados.

En lo referente al sector salud, solamente existe una posta sanitaria en Limbani, Phara y Patambuco, brindando con ello a toda la zona resultando ser bastante deficiente y restringida.

En cuanto al sector transporte y comunicación existe una oficina de correos en Limbani y Phara. Asimismo hay comunicación radial entre la ciudad de Juliaca y Limbani, mediante la radio del Banco Minero.

#### Dependencias del Estado:

El Estado esta representado en el distrito por el Gobernador (Poder Ejecutivo) y el Juez de Paz (Poder Judicial). Asimismo el Gobierno local se da átravez de los Concejos Distritales, no existe dependencia policial en ninguna de las localidades.

#### 2.3.3 Aspectos Sociales:

El área de influencia del proyecto está poblado por pequeños mineros, agricultores y ganaderos. Socialmente tiene una tipificación caracteriztico de la zona de sierra, arraigados por sus propias costumbres, basados en un sistema de vida de caracter comunal, su participación en el gradual y relativo desarrollo económico sociocultural de la zona se ve limitada por la falta de infraestructura básica para su desarrollo como el agua y la luz.

#### Población:

Según los censos nacionales de población y vivienda de los años 1972 y 1984, la estructura de la población en la microregión es la siguiente:

| ESTRATO | AÑO 1972 |     | AÑO 1981 |     | r<br>% |
|---------|----------|-----|----------|-----|--------|
|         | Habit.   | %   | Habit.   | %   |        |
| urbana  | 986      | 28  | 1607     | 36  | 5.57   |
| rural   | 2550     | 72  | 2890     | 64  | 1.39   |
| total   | 3536     | 100 | 4497     | 100 |        |

Donde "r" es la tasa de crecimiento anual calculada según los censos de los años indicados.

De acuerdo al cuadro vemos que un gran porcentaje de la población está en el área rural, pero el área urbana se ha ido incrementando, tal es así que si proyectáramos a dichas tasas, para 1986 la población urbana será el 40% de la microregión. Sin embargo si comparamos la población de la microregión, con la provincial, esta última crece a 2.67%, la población urbana y a 0.49% la población rural. Esta comparación así como la visita a la zona permiten deducir que se produce un movimiento migratorio, de las zonas urbanas a las zonas rurales especialmente en las épocas de cosecha y siembra para luego regresar al pueblo donde tienen sus viviendas.

#### Población Económicamente Activa (PEA):

La PEA de la localidad Limbani está constituido aproximadamente por el 70% de la población del que deducimos que el mercado laboral absorbe también a los niños, ancianos y estudiantes en general. Esto trae como consecuencia la inasistencia de una parte del alumnado a sus clases y/o la parcial dedicación a sus labores educativas. En las otras localidades se presenta similares características.

#### 2.3.4 Aspectos Económicos:

##### Estructura Productiva:

La estructura productiva y la actividad econó-

mica de la zona gira generalmente en torno a la agricultura y la minería.

La agricultura está en un nivel primario no industrial por no contar con la tecnología adecuada y los créditos oportunos. Los principales productos que se cultivan son: la papa, oca, cebada, habas y la quinua. El cultivo de mayor relevancia es la papa, constituyéndose en el alimento básico para la población.

La otra actividad económica de importancia es la minería, que se caracteriza por la extracción del oro de los ríos y minas cercanos al lugar, destaca la explotación aurífera de la mina Aporoma, distante 40 km. al norte de Limbaní. Esta actividad se ha incrementado en forma notable y esto ha sido posible gracias a los altos precios alcanzados por este mineral en el mercado mundial. El mineral extraído es vendido al Banco Minero de la localidad de Limbaní.

La ganadería no deja de tener importancia destacándose el desarrollo del ganado vacuno y ovino principalmente en la comunidad de Huan-casayani.

III  
ESTUDIO DEL MERCADO ELECTRICO

3.1 GENERALIDADES:

El objetivo fundamental del presente estudio, es el de electrificar las localidades de Limbani-Phara y sus comunidades, ubicadas en la provincia de Sandia departamento de Puno. Mediante la utilización racional de los recursos energéticos con que cuenta el departamento, por tanto en el estudio del mercado eléctrico, será preciso tener en cuenta que el equipamiento de Centrales Eléctricas requiere de grandes inversiones, pues la industria eléctrica es uno de los sectores económicos de mas alta demanda de capital, siendo el valor de la producción muy pequeña con relación al volumen de las inversiones que requiere para generarla. Por tanto una capacidad instalada excesiva, no solo comprometeria recursos financieros y técnicos, sino que repercutirá negativamente en el costo de la energía generada.

3.2 MERCADO ELECTRICO:

3.2.1 Oferta de Energía Eléctrica:

Las localidades ubicadas en el área de influencia del proyecto carecen de servicio eléctrico, entónces la oferta de energía eléctrica es nula. Esto se explica por su ubicación geográfica imposibilitando una interconexión a los pequeños Sistemas Eléctricos planificados para el depart. de Puno, incluyéndose al

PSE Sandía, que es el mas cercano, restandole luego en el futuro posibilidad de contar con dicho servicio vital, por estar alejado de los grandes proyectos para el departamento.

### 3.2.2 Estudio de la Demanda de la Energía Eléctrica:

La demanda de Energía Eléctrica lo determinamos teniendo en cuenta, la metodología utilizada por ELECTROPERU, para estimar la máxima demanda de pequeños centros poblados, así como tambien las conclusiones del "V Proyecto de Energía Eléctrica del Peru", publicada por el MEM en 1980.

Asímismo el estudio de la demanda se hara para el área urbana y para el área rural, diferenciandose ambas en la utilización de algunos parametros, como la relación habitantes-vivienda, coeficiente de electrificación, consumo unitario comercial-domestico, horas de utilización del servicio, etc., considerando siempre que el proyecto es de caracter integral. Se ha tomado como área rural a las comunidades y Unidades Agropecuarias definidas en el acapite 2.2 .

Para proyectar la demanda eléctrica, se hace uso de un programa de computo usada por Electroperu para fines del pronostico de ésta demanda. El programa de computo tiene como base la confiabilidad de la serie de datos pueda proporcionarsele. En consecuencia toda la información fué revisada antes de su entrada al programa, eliminandose aquella información que mostraba valores extremos y poco probables. Por último las proyecciones de la máxima demanda así como la de sus componentes se han calculado para un periodo de 25 años.

Los pasos que sigue el programa de cómputo para proyectar los requerimientos de energía para las localidades en estudio son las siguientes:

3.2.2.1 Sector Domestico y Alumbrado Público:

Pronostico de la población(POB):

La fuente de información para este caso ha sido los censos nacionales de población de 1972 y 1981, obteniendose de ellos tanto el número de habitantes como la tasa de crecimiento anual para el área urbana y rural.

Parte de estos datos se muestran en el acápite 2.3.3 en los que se refiere a la población, donde notamos que la tasa de crecimiento poblacional entre 1972 y 1981 ha sido 5,57% en el área urbana y 1,39% en el área rural. Por otro lado la tasa de crecimiento poblacional, provincial en el mismo periodo ha sido de 2,67% en el área urbana y de 0,49% en el área rural, de modo que para el presente estudio se ha tomado 4,8% para el área urbana y 1,5% para el área rural. Asimismo para las proyecciones se ha tomado como año base 1981, con una población de 1607 habitantes para el área urbana y 2890 habitantes para el área rural.

Para los cálculos de proyección se ha empleado la fórmula ecométrica de la población. Un resumen de estos cálculos se muestran en los cuadros No 3.2 y 3.3 para el área urbana y rural respectivamente.

Pronostico del Número de Viviendas(VIV)

El número de viviendas estimada de acuerdo a la relación  $VIV=POB/RHV$ , se basa en la información censal(1981), mostrada en el siguiente cuadro.

| AREA   | INF. DEL PRYCT |      |      | PROV. DE SAND. |       |      |
|--------|----------------|------|------|----------------|-------|------|
|        | POB            | VIV  | RHV  | POB            | VIV   | RHV  |
| urbana | 1607           | 371  | 4,33 | 7696           | 1836  | 4,19 |
| rural  | 2890           | 695  | 4,16 | 38828          | 9290  | 4,17 |
| total  | 4497           | 1314 | 4,27 | 46524          | 11126 | 4,18 |

Fuente: Censo nacional 1981, INE

POB: Población en el año 1981

VIV: Número de viviendas en el año 1981

RHV: Relación habitantes por vivienda.

La relación habitante-vivienda deducido de la información histórica y considerada como la más representativa será para el área urbana 4,2 y 4,0 para el área rural. Esta relación se mantendrá constante para el periodo en estudio en ambos casos.

Un resumen del número de viviendas proyectada se muestra en los cuadros No 3.2 y 3.3 tanto para el área urbana y rural de la microregión.

Pronostico del Número de Abonados Domesticos (AD):

El número de abonados domesticos(AD) se obtiene multiplicando el número de viviendas(VIV), por el coeficiente de electrificación(CE), para cada año de la proyección.

$$AD = VIV \cdot CE$$

Como quiera que la zona a electrificar no cuenta con servicios eléctricos, se asume un coeficiente de electrificación inicial del 55% y 30% para el área urbana y rural respectivamente. Los que crecieran linealmente, según lo mostrado en la lamina No 3.2, llegando hasta el 80% y 70% para el área urbana y rural respectivamente, en los años 2005 y 2007, para luego mantenerse constante.

Cabe aclarar que se ha considerado un coeficiente de electrificación relativamente alto, porque el proyecto es de caracter integral, es decir el equipamiento electromecánico se en todo el área de influencia del proyecto.

Los resultados se muestran en los cuadros No 3.2 y 3.3 , tanto para el área urbana y rural de la microregión.

Consumo Neto de Energía en el Sector Doméstico y Alumbrado Publico (CD):

El consumo neto del sector doméstico y alumbrado público, se calcula en base al consumo unitario de los mismos, el que a su vez se halla mediante un analisis de regresión. La curva desarrollada y seleccionada para este caso es del tipo potencial é igual a:

$$CUD = 279,55 \cdot (AD)^{0,092}$$

Donde:

AD : Número de abonados domesticos.

CUD: Consumo unitario domestico.

Una vez calculado el consumo unitario



doméstico (CUD), tanto para el área urbana como para el rural, hallamos el consumo neto doméstico (CD) para ambos casos, multiplicando el consumo unitario por el número de abonados domésticos ó sea:

$$CD = CUD \cdot AD$$

El resumen de los calculos para el consumo doméstico se muestra en los cuadros No 3.2 y 3.3, para el área urbana y rural de la microregión.

#### 3.2.2.2 Sector Comercial:

##### Pronóstico del Número de Abonados Comerciales (AC):

Para el cálculo de estos valores, se tendra en cuenta la relación número de abonados domésticos (AD) y número de abonados comerciales (AC), de acuerdo al comportamiento del coeficiente de electrificación, que para localidades sin servicio toma la siguiente:

$$RADC = AD / AC = 7$$

El mismo que permanecera constante para el periodo del estudio, esta relación será el mismo para el área urbana y rural. Un resumen del número de estos abonados se muestra en los cuadros No 3.2 y 3.3 .

##### Consumo Unitario Comercial (CVC):

El consumo unitario comercial se obtiene, considerando el comportamiento del coeficiente de electrificación, supuesto para localidades del tipo de la

zona de influencia toma los siguientes valores:

$RCCD = CVC / CUD = 1,05$  : área urbana

$RCCD = CVC / CUD = 1,00$  : área rural

El resumen de estos cálculos se muestra en los cuadros No 3.2 y 3.3 , para el área urbana y rural de la microregión.

#### Consumo Neto de Energía en el Sector Comercial (CC):

El consumo neto comercial(CC) de energía eléctrica se calcula multiplicando el consumo unitario comercial(CVC), por el número de abonados comerciales(AC), por cada año de la proyección:

$$CC = CVC . AC$$

El resumen de los cálculos se muestra en los cuadros No 3.2 y 3.3 .

#### 3.2.2.3 Sector Industrial:

##### Consumo Neto en el Sector Industrial:

El área de influencia del proyecto, como se había señalado tiene como actividad fundamental la agricultura y la minería artesanal, por tanto no habrá demanda de energía eléctrica para este sector, no significando con ello que la industria no tiene posibilidades para desarrollarse, sino que por el contrario ésta servirá de incentivo para que la escasa artesanía manufacturera pueda transformarse en pequeña industria.

3.2.2.4 Sector Cargas Especiales:

Consumo Neto de la Energía debido a las Cargas Especiales (CAE):

Este rubro corresponde al uso de la energía eléctrica en servicios especiales, como parques, locales escolares, locales comunales, posta médica, parroquia, oficina de correos, etc.

De acuerdo a la metodología, se ha determinado que tanto para el área urbana como para el rural, el consumo será el 3% de la suma del consumo doméstico (CD), más el consumo comercial(CC), el mismo que permaneciera constante durante el periodo del estudio, es decir:

$$CAE = 3\% \cdot (CD + CC)$$

Los resultados de estos calculos se muestran en los cuadros No 3.2 y 3.3 para el área urbana y rural.

3.2.2.5 Consumo Neto Total de Energía (COT):

El consumo neto total(COT), de la energía eléctrica es el resultado de la suma del consumo neto doméstico(CD), el consumo neto comercial(CC), y el consumo por las cargas especiales(CAE), es decir:

$$COT = CD + CC + CAE$$

El resultado de los calculos se muestra en los cuadros No 3.2 y 3.3

3.2.2.6 Consumo Bruto Total de Energía (CBR):

El consumo bruto de energía eléctrica (CBR), se calcula sumando el consumo

neto total (COT), más las pérdidas de la misma.

Para el tipo de localidades como las que se presenta en la microregión y acuerdo al volumen de su población, se asume un factor de pérdidas del 12% del consumo neto total para el área urbana, y del 10% para el área rural, el cual asumimos que permaneciera constante durante el periodo del estudio ó sea:

$$\text{CBR} = 1,12 \cdot \text{COT} \quad ; \quad \text{Area urbana}$$

$$\text{CBR} = 1,10 \cdot \text{COT} \quad ; \quad \text{Area rural}$$

El resumen de estos calculos se muestra en los cuadros No 3.2 y 3.3

### 3.2.2.7 Máxima Demanda de Potencia (MXD):

Para proyectar la máxima demanda de potencia (MXD), tomamos el consumo bruto de energía (CBR) y las horas de utilización del servicio (HU), de acuerdo a la siguiente relación:

$$\text{MXD} = \text{CBR} / \text{HU}$$

En lo que respecta a las horas de utilización se ha asumido que para localidades sin servicio, similares al de la microregión en estudio es:

| <u>Area</u> | <u>Año 1</u> | <u>Año 25</u> |        |
|-------------|--------------|---------------|--------|
| urbana :    | 2430         | 3300          | h./año |
| rural :     | 2125         | 2850          | h./año |

El resumen de estos calculos se muestra en los cuadros No 3.2 y 3.3, para todo el periodo de proyección.

3.2.2.8 Máxima Demanda Total del PSE (MD):

El consumo total bruto (CTB), y la máxima de manda total (MD) del PSE Limbani, resulta de la suma aritmética del área urbana y rural de las localidades que conforman la microre gión.

El número de horas de utilización promedio del PSE (HOU), será :

$$\begin{aligned} \text{HOU} &= \text{CTB} / \text{MD} && \text{y} \\ \text{CTB} &= \text{CBR}(\text{urbana}) + \text{CBR}(\text{rural}) \\ \text{MD} &= \text{MXD}(\text{urbana}) + \text{MXD}(\text{rural}) \end{aligned}$$

El resumen de estos calculos se muestra en el cuadro consolidado No 3.4, Asimismo en la lamina No 3.3 se muestra la curva del consumo total bruto (CTB), y la curva de la máxima demanda total (MD), para todo el peri odo del estudio es decir 25 años.

CUADRO 3.1

MERCADO ELECTRICO: CENTROS POBLADOS DEL AREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

| LOCALIDAD    | CATEGORIA  | POBLACION (1981) | NUMERO DE FAM. 1981 | SERVICIO ELECTRICO | ACCESIBILIDAD (VIA) | DIST. DESDE LIMBANI (KM) |
|--------------|------------|------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|
| Limbani      | Pueblo     | 725              | 170                 | no tiene           | afirmada            | -                        |
| Huancasayani | Com. Camp. | 489              | 114                 | no tiene           | afirmada            | 5,7                      |
| Phara        | Pueblo     | 404              | 76                  | no tiene           | afirmada            | 5,0                      |
| Cullocachi   | Com. Camp. | 448              | 108                 | no tiene           | trocha              | 7,5                      |
| Chejani      | Com. Camp. | 441              | 113                 | no tiene           | trocha              | 17,5                     |
| Comunidad    | Com. Camp. | 345              | 78                  | no tiene           | trocha              | 6,8                      |
| Cahuichana   | Com. Camp. | 281              | 73                  | no tiene           | trocha              | 25,0                     |
| Toldollueri  | Und. Agro. | 295              | 60                  | no tiene           | trocha              | 7,5                      |
| Patambueo    | Pueblo     | 478              | 125                 | no tiene           | trocha              | 34,0                     |
| Ccarahuana   | Und. Agro. | 341              | 88                  | no tiene           | trocha              | 37,0                     |
| Canu canu    | Und. Agro. | 250              | 61                  | no tiene           | trocha              | 42,0                     |

Fuente : Censo 1981 - INE ; Reconocimiento de campo "in situ" - ELECTROPERU

## CUADRO 3.2

## CALCULO DE LA MAXIMA DEMANDA URBANA DEL PROYECTO

| AÑO  | POB  | VIV  | AD   | CD     | AC  | CC     | CAE   | COT    | CBR    | MXD |
|------|------|------|------|--------|-----|--------|-------|--------|--------|-----|
| 1988 | 2338 | 556  | 305  | 143960 | 43  | 21285  | 4957  | 170202 | 190626 | 78  |
| 1989 | 2450 | 583  | 332  | 157700 | 47  | 23406  | 5433  | 186539 | 208923 | 84  |
| 1990 | 2568 | 611  | 366  | 175680 | 52  | 26156  | 6155  | 207891 | 232837 | 93  |
| 1991 | 2691 | 640  | 396  | 191268 | 56  | 28392  | 6589  | 226249 | 253398 | 99  |
| 1992 | 2820 | 671  | 436  | 212768 | 62  | 31744  | 7335  | 251847 | 282068 | 109 |
| 1993 | 2956 | 703  | 478  | 235176 | 68  | 35088  | 8107  | 278371 | 311775 | 119 |
| 1994 | 3097 | 737  | 515  | 254925 | 73  | 37887  | 8784  | 301596 | 337787 | 128 |
| 1995 | 3246 | 772  | 548  | 272904 | 78  | 40716  | 9408  | 323028 | 361791 | 135 |
| 1996 | 3402 | 810  | 583  | 292083 | 83  | 43658  | 10072 | 345813 | 387310 | 143 |
| 1997 | 3565 | 848  | 619  | 311976 | 88  | 46552  | 10755 | 369283 | 413596 | 150 |
| 1998 | 3736 | 889  | 648  | 327888 | 92  | 48852  | 11302 | 388042 | 434607 | 156 |
| 1999 | 3916 | 932  | 689  | 350701 | 98  | 52332  | 12090 | 415123 | 464937 | 165 |
| 2000 | 4104 | 977  | 732  | 374052 | 104 | 55744  | 12893 | 442689 | 495811 | 174 |
| 2001 | 4301 | 1024 | 778  | 399892 | 111 | 39829  | 13791 | 473512 | 530333 | 183 |
| 2002 | 4507 | 1073 | 826  | 427042 | 118 | 63956  | 14729 | 505727 | 566414 | 194 |
| 2003 | 4724 | 1124 | 876  | 455520 | 125 | 68250  | 15713 | 539483 | 604220 | 204 |
| 2004 | 4950 | 1178 | 930  | 486390 | 132 | 72468  | 16765 | 575623 | 644697 | 215 |
| 2005 | 5188 | 1235 | 988  | 519688 | 141 | 77832  | 17925 | 615445 | 689298 | 228 |
| 2006 | 5437 | 1294 | 1035 | 546480 | 147 | 81438  | 18837 | 646755 | 724365 | 236 |
| 2007 | 5698 | 1356 | 1084 | 574520 | 154 | 85624  | 19804 | 679948 | 761541 | 246 |
| 2008 | 5972 | 1421 | 1136 | 604352 | 162 | 90396  | 20842 | 715590 | 801460 | 256 |
| 2009 | 6258 | 1490 | 1192 | 637720 | 170 | 95370  | 21992 | 755082 | 845691 | 267 |
| 2010 | 6559 | 1561 | 1248 | 670176 | 178 | 100214 | 23111 | 793501 | 888721 | 278 |
| 2011 | 6874 | 1636 | 1308 | 705012 | 186 | 105090 | 24303 | 834405 | 934533 | 289 |
| 2012 | 7204 | 1715 | 1372 | 743624 | 196 | 111524 | 25654 | 880802 | 986498 | 302 |

CBR : Consumo Bruto Total de Energía (kWh),      MXD : Máxima Demanda de Potencia (kW)

CUADRO 3.3

CALCULO DE LA MAXIMA DEMANDA RURAL DEL PROYECTO

| AÑO  | POB  | VIV  | AD  | CD     | AC  | CC    | CAE   | COT    | CBR    | MXD |
|------|------|------|-----|--------|-----|-------|-------|--------|--------|-----|
| 1988 | 3255 | 813  | 243 | 112266 | 34  | 15708 | 3839  | 131813 | 144994 | 68  |
| 1989 | 3304 | 826  | 272 | 127024 | 38  | 17746 | 4343  | 149113 | 164024 | 76  |
| 1990 | 3353 | 838  | 301 | 141771 | 43  | 20253 | 4860  | 166884 | 183572 | 84  |
| 1991 | 3404 | 851  | 331 | 157225 | 47  | 22325 | 5386  | 184936 | 203429 | 92  |
| 1992 | 3455 | 863  | 371 | 178080 | 53  | 25440 | 6105  | 209625 | 230587 | 103 |
| 1993 | 3507 | 876  | 402 | 194568 | 57  | 27588 | 6664  | 228820 | 251702 | 111 |
| 1994 | 3559 | 889  | 435 | 211845 | 62  | 30194 | 7261  | 249300 | 274230 | 119 |
| 1995 | 3613 | 903  | 469 | 230279 | 67  | 32897 | 7895  | 271071 | 298178 | 128 |
| 1996 | 3667 | 916  | 503 | 248482 | 71  | 35074 | 8506  | 292062 | 321268 | 136 |
| 1997 | 3722 | 930  | 539 | 267883 | 77  | 38269 | 9184  | 315336 | 346869 | 145 |
| 1998 | 3778 | 944  | 585 | 293085 | 83  | 41583 | 10040 | 344778 | 379178 | 157 |
| 1999 | 3834 | 958  | 622 | 313488 | 88  | 44353 | 10735 | 368575 | 405432 | 166 |
| 2000 | 3892 | 973  | 642 | 324210 | 91  | 45955 | 11104 | 381269 | 419395 | 170 |
| 2001 | 3950 | 987  | 651 | 329406 | 93  | 47058 | 11293 | 387757 | 426532 | 171 |
| 2002 | 4010 | 1002 | 671 | 340197 | 95  | 48165 | 11650 | 400012 | 440013 | 174 |
| 2003 | 4070 | 1017 | 681 | 345948 | 97  | 49276 | 11856 | 407080 | 447788 | 175 |
| 2004 | 4131 | 1032 | 701 | 356809 | 100 | 50900 | 12231 | 419940 | 461934 | 179 |
| 2005 | 4193 | 1048 | 712 | 363120 | 101 | 51510 | 12438 | 427068 | 469774 | 180 |
| 2006 | 4256 | 1064 | 734 | 375074 | 104 | 53144 | 12846 | 441064 | 485170 | 183 |
| 2007 | 4319 | 1079 | 744 | 380928 | 106 | 54272 | 13056 | 448256 | 493081 | 184 |
| 2008 | 4384 | 1096 | 767 | 394238 | 109 | 56026 | 13507 | 463771 | 510148 | 189 |
| 2009 | 4450 | 1112 | 778 | 399892 | 111 | 57154 | 13708 | 470654 | 517719 | 190 |
| 2010 | 4517 | 1129 | 790 | 406850 | 112 | 57680 | 13935 | 478465 | 526311 | 191 |
| 2011 | 4585 | 1146 | 802 | 413832 | 114 | 58824 | 14179 | 486835 | 535518 | 192 |
| 2012 | 4635 | 1163 | 814 | 420024 | 116 | 59856 | 14396 | 494276 | 543703 | 193 |

CBR : Consumo Bruto Total de Energía (kWh),

MXD : Máxima Demanda de Potencia (kW)



CUADRO 3.4

CALCULO DE LA MAXIMA DEMANDA TOTAL DEL PROYECTO

| AÑO  | PBT   | HOU  | CTB     | MD  |
|------|-------|------|---------|-----|
| 1988 | 5593  | 2298 | 335620  | 146 |
| 1989 | 5754  | 2330 | 372947  | 160 |
| 1990 | 5921  | 2352 | 416409  | 177 |
| 1991 | 6095  | 2391 | 456827  | 191 |
| 1992 | 6275  | 2418 | 512655  | 212 |
| 1993 | 6463  | 2449 | 563477  | 230 |
| 1994 | 6656  | 2477 | 612017  | 247 |
| 1995 | 6859  | 2509 | 659969  | 263 |
| 1996 | 7069  | 2539 | 708578  | 279 |
| 1997 | 7287  | 2577 | 760465  | 295 |
| 1998 | 7514  | 2599 | 813785  | 313 |
| 1999 | 7750  | 2629 | 870369  | 331 |
| 2000 | 7996  | 2660 | 915206  | 344 |
| 2001 | 8251  | 2703 | 956865  | 354 |
| 2002 | 8517  | 2734 | 1006427 | 368 |
| 2003 | 8794  | 2775 | 1052008 | 379 |
| 2004 | 9081  | 2808 | 1106631 | 394 |
| 2005 | 9381  | 2840 | 1159072 | 408 |
| 2006 | 9693  | 2886 | 1209535 | 419 |
| 2007 | 10017 | 2917 | 1254622 | 430 |
| 2008 | 10356 | 2947 | 1311608 | 445 |
| 2009 | 10708 | 2983 | 1363410 | 457 |
| 2010 | 11076 | 3017 | 1415032 | 462 |
| 2011 | 11459 | 3056 | 1470051 | 481 |
| 2012 | 11857 | 3091 | 1530201 | 495 |

PBT: Población total del PSE, HOU: Horas de util. del PSE  
 CTB: Cons. total PSE (kWh), MD: Máxima Dem. PSE (kW).

## IV

### ESTUDIOS BASICOS Y ESQUEMA HIDROELECTRICO DEFINITIVO

#### 4.1 GENERALIDADES:

Generalmente las Pequeñas y Minicentrales Hidráulicas se ubican mayormente en las "laderas de cerros", con rios de fuerte gradiente pero de poco flujo de agua y no requieren de represamientos.

Se recomienda que la longitud del canal no ha de ser excesiva, 5 ó 6 km. se admite como máximo. Así mismo es conveniente elegir un lugar adecuado para la ubicación de un reservorio de regulación, cuando así lo requiera, este reservorio aumenta la potencia de la central en las horas de punta.

El lugar para la instalación de la tubería forzada ha de tener una pendiente entre los 30 y 45 °, de modo tal que no resulte demasiado largo, ni tampoco escarpado que a la postre dificultaría su montaje.

La casa de máquinas será ubicado en un lugar "plano", pero suficientemente alto como para que en épocas de avenidas no haya peligro de inundación.

En general la central deberá estar ubicado relativamente cerca del principal centro de carga. Una distancia del orden de los 5 a 10 km. sería la máxima recomendable. Asimismo deberá ser factible la construcción de una carretera de acceso, el mismo que facilitaría su montaje y posterior operación.

#### 4.2 RECONOCIMIENTO DE ALTERNATIVAS Y ELECCION:

Durante los años anteriores al presente, se efectuaron diversos reconocimientos de campo por entidades como el ITINTEC , ELECTROPERU y el MEM. Estos delimitaron de manera muy preliminar, las áreas susceptibles de ubicación del recurso hidroenergético.

En el presente capítulo se evaluara y definira las características de cada una de las alternativas planteadas. Asimismo se determinaran los diversos parametros que involucra el diseño de la central.

En las prospecciones de campo realizados con peritos en Hidrología, Geología y Topografía, se pudo identificar hasta 4 alternativas de aprovechamiento Hidroenergético, a continuación se enumera:

- Alternativa : Limbani 1-A
- Alternativa : Limbani 1-B
- Alternativa : Limbani 2
- Alternativa : Phara

En la lamina No 4.1 , se muestra la ubicación de cada una de estas alternativas.

Para la definición de la alternativa óptima se tomara en cuenta las conclusiones de caracter técnico-económico que arrojen los estudios básicos de Hidrología, Geología y Topografía, de cada una de las alternativas planteadas, dentro de las mejores soluciones, con el objeto tal que se pueda conseguir una potencia capaz de satisfacer los requerimientos futuros de energía eléctrica para la microregión, es decir se buscara para nuestra central eléctrica una potencia de por lo menos 495 kW, que viene a ser la Máxima Demanda proyectada al año 2012 de la microregión ó PSE en estudio.

Líneas abajo se describira, identificara y evaluara cada una de las alternativas planteadas.

4.2.1 Alternativa Limbani 1-A:

El recurso hídrico que se piensa aprovechar corresponde a la extensa cuenca del río Huancasayani, cuyo caudal según aforos realizados varía entre 0,5 y 12 m<sup>3</sup>/seg.

Las obras de captación estarían ubicadas a una altitud de 3550 m.s.n.m. El terreno en la bocatoma muestra lechos pedregosos, de tamaños variados, separados uno de otros, como resultado de la acción glaciaria.

El trazo del canal de derivación tendrá una longitud de 1000 m. aprox., el que cruzará núcleos de desechos de material aluvional y depósitos cuaternarios sueltos.

En el lugar de la Cámara de Carga se observa piedras de tamaño variable, sobre suelo herbáceo y pizarroso, geológicamente estables.

La ruta de la Tubería Forzada descenderá por ladera de la terraza, a algunas decenas de metros aguas arriba de la quebrada, denominada Chinchelamani.

La casa de máquinas sería cimentada sobre una terraza de material aluvional, entre peñascos esparcidos y sobre una ladera de pendiente suave, las aguas turbinadas serían devueltas directamente al río Limbani.

El Salto Bruto que se consigue con esta alternativa es de 130 m. , con una longitud de 240 m. para la tubería forzada.

Por tanto la potencia que se obtendría mediante esta alternativa está en el orden de los 490 kW, con caudal de estiaje (0.5 m<sup>3</sup>/s.) y sin reservorio de regulación.

En esta alternativa la quebrada de Chinchela

mani representa una barrera natural a efectos de ampliar aguas abajo el salto, debido a que sería difícil y muy costoso cruzarla con canal ó tuberías en sifón (la quebrada mide: 50 m. de ancho y 30 m. de profund. aprox.).

Esta alternativa sin embargo se ve favorecida por su ubicación cercana al centro de carga y porque a las aguas que en este tramo no se les dáningun uso. Asimismo existen vías de acceso que posibilita su construcción inmediata. Con un Reservorio de Regulación de tamaño moderado (camara de carga ampliada) se podrá satisfacer la Demanda Eléctrica (495 kW)

#### 4.2.2 Alternativa Limbani 1-B:

Contempla el aprovechamiento del salto en el flanco derecho del valle de Limbani, al igual que la alternativa 1-A se encuentra ubicada poco antes de llegar al distrito de Limbani.

Las obras de captación serán ubicadas en el mismo lugar de la alternativa 1-A, y por tanto con las mismas características.

El trazo del canal con una longitud de 1500 m. aprox. , atravezara los primeros 500 mts. depositos cuaternarios sueltos, factibles para la excavación con metodos manuales, el tramo restante atravezara roca metamórfica tipo pizarra relativamente alterado, con fuertes pendientes transversales entre 60 y 80°, los que requeriran el uso de explosivos para su excavación, con el consiguiente deslizamiento de gran cantidad de material suelto.

La Camara de Carga se cimentaria sobre pizarras de gran pendiente, y que para su insta-

lación será necesario desplazar gran cantidad de material suelto.

En la ruta de la Tubería Forzada aflora roca pizarrosa ligeramente cubierta por depósitos cuaternarios y bastante vegetación herbácea las pendientes longitudinales varían entre los 50 y 60°.

La Casa de Maquinas se ubicaría sobre una ladera de pendiente suave, constituido por depósitos cuaternarios, y las aguas turbinadas serían devueltas directamente al río Limbani.

El Salto Bruto que se consigue con esta alternativa es de 140 m. , con una longitud para la tubería igual a 280 m.

Luego la potencia que se consigue con esta alternativa es del orden de los 525 kW, con caudal de estiaje (0,5 m<sup>3</sup>/seg.).

Esta alternativa se ve favorecida por su cercanía al centro de carga, por las aguas que en este tramo no se les da ningún uso por sus vías de acceso existentes. Sin embargo esta alternativa, presentaría dificultades al momento de su construcción (Excesivo deslizamiento de material y pendiente muy escarpada para la tubería forzada), por tanto el costo será mucho más elevado.

#### 4.2.3 Alternativa Limbani 2:

Se ubica también en el flanco derecho de valle Limbani, pero a aguas abajo de este centro poblado.

Las obras de Captación se ubicarían a una altitud promedio de 3300 m.s.n.m., en un tramo del cauce del río Limbani (formada por la confluencia del río Huancasayani y Chinchelamani), la construcción de la Bocatoma requeri-

ra de grandes volúmenes de concreto armado, los que muy bien podrían causar deslizamientos peligrosos.

Se controla el caudal en épocas de estiaje igual a  $0,6 \text{ m}^3/\text{seg.}$  ( $0,1 \text{ m}^3/\text{seg.}$  es el que aporta la quebrada Chinchelamani), pero para fines de aprovechamiento hidroenergético se contara con  $0,3 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , el resto será usado para los servicios de agua potable y principalmente para riego de la extensa zona cultivable, aguas abajo del pueblo.

El trazo del canal de derivación tendrá una longitud de 3000 m. aprox., atravesara depósitos cuaternarios de lechos pedregosos cubierta por abundante vegetación herbacea y sobre terrenos de cultivo.

La Camara de Carga, Tubería Forzada y Casa de Maquinas, se ubicarian sobre terrenos geológicamente estables.

El Salto que se consigue es de 280 m. y una longitud de tubería igual a 490 m.

Luego la potencia que se consigue esta en el orden de los 620 kW.

Esta alternativa se ve favorecida por la potencia que conseguiriamos, pero por su alto costo de construcción (canal y tubería de grandes longitudes), porque se perdería áreas de cultivo, y por el costo adicional que se necesitara para la construcción de las carreteras de acceso no es la recomendada

#### 4.2.4 Alternativa Phara:

Esta alternativa esta ubicada en el valle de Phara, en el flanco izquierdo opuesto al po-

al poblado del mismo nombre, con referencia al distrito de Limbanise encuentra a 5 km. hacia el lado este siguiendo la carretera.

Durante las prospecciones de campo, se han realizado aforos sobre el río Phara, controlandose un caudal mínimo en estiaje igual a  $0,5 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Las obras de Captación serían ubicadas a una altitud promedio igual a 3600 m.s.n.m., el área presenta condiciones morfológicas favorables, geológicamente esta constituido por depósitos aluviales, en ambas pendientes del valle se encuentran macizos pizarrosos, con coberturas de depósitos détricos de ladera y sobre la cual se desarrollan pastos y arbustos diversos.

El trazo del canal de derivación tendrá una longitud de 1250 m. aprox., atravezara depósitos cuaternarios de ladera, y eventualmen-roca pizarrosa muy alterada y suelta, con pendientes transversales variables entre 35 y  $45^\circ$ , asimismo esta zona muestra deslizam<sup>i</sup>entos muy recientes.

La Camara de Carga, Tubería Forzada y Casa de Maquinasse ubicara sobre macizos pizarrosos, superficialmente intemperisadas. La Casa de Maquinas estará a una altitud de 3480 m. ,consiguiendose de este modo un Salto de 120 m. y una longitud de tubería de 210 m. obteniendose así una potencia igual a 450kW.

Mayor altura del salto se difícil e imposi-de conseguir, porque tendría que atravezar el canal una quebrada cuyas dimensiones son semejantes al de la quebrada de Chinchelama-ni ya mencionada.



Esta alternativa es buena por su cercanía a los principales centros de carga y por contar con caminos de acceso para su construcción. Pero es ampliamente desfavorecida por la pequeña potencia que se consigue y por la inconsistencia geológica del terreno en la zona del canal de derivación, imposibilitando también la construcción de un reservorio de regulación.

#### 4.2.5 Elección de la alternativa óptima:

Los esquemas de obra de cada una de las alternativas propuestas se muestran en las láminas No 4.2A y 4.2B .

Teniendo en cuenta que para proyectos de inversión la alternativa óptima será el que posee una evaluación Técnico-Económico mas favorable, el que es elegido por su tamaño y su localización.

Del analisis expuesto en los acapites 4.2.1 , 4.2.2 , 4.2.3 y 4.2.4 . Elegimos la alternativa "LIMBANI 1-A", considerando un reservorio de regulación diario en la Camara de Carga, el que será capaz de entregar hasta 10 kW. de potencia adicional en las horas de punta, satisfaciendo de esta manera la demanda eléctrica del Pequeño Sistema Eléctrico Limbani hasta el año 2012.

La alternativa elegida respecto a Tamaño-Localización, esta garantizada con el suministro de agua el que ha sido considerado la de estiaje, permitiendo adicionalmente represarlo con el objeto de regular su caudal para el mejor uso del recurso agua. Por Rigideces Locacionales esta alternativa es favorable es decir mientras más pequeña sea la obra me

nores dificultades se tendrá en el manipuleo transporte y ejecución de las obras, tanto electromecánicas como civiles.

Estudios posteriores de Hidrología, Topografía, y Geología en adelante serán referidos a la alternativa elejida LIMBANI 1-A. En la lámina No 4.3 se muestra el plano del proyecto.

#### 4.3 HIDROLOGIA Y METEOROLOGIA:

##### 4.3.1 Generalidades:

En la lámina No 4.4 se muestra la cuenca Hidrográfica del río Huancasayani (aguas arriba del río Limbani, afluente del río Inambari y éste último perteneciente a la gran cuenca del Amazonas.), formada a partir de pequeños ríos y lagunillas, cuyo origen son las precipitaciones atmosféricas y principalmente los deshielos de los glaciares (Nevado de Aricoma perteneciente a la cordillera del Carabaya). La cuenca de captación es calculada en 100 km<sup>2</sup> de área útil.

Su clima es frío, con mayor oscilación entre el día y la noche, y entre la sombra y el sol. La temperatura media anual esta entre los 7 y 15°, máxima 20°C (julio), mínima -1°C (diciembre). La atmosfera es de notable transparencia, por lo que la visión y el sonido no encuentran obstaculos.

##### 4.3.2 Precipitación:

El medio ambiente se caracteriza por la poca humedad y abundantes precipitaciones atmosféricas (diciembre y enero).

En la localidad de Huancasayani se encuentra una estación pluviométrica para la medición

de lluvias (ver lámina No 4.4). El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI, ha venido tomando datos de precipitaciones diarias a partir del año 1963 hasta 1978 in<sup>te</sup>rrumpidamente, para luego tomar datos el año 1982.

Un resumen de estos datos tomados se muestra en el cuadro No 4.1 los que previamente han sido promediados mensualmente por cada año, y en la lámina No 4.5 se ha graficado el comportamiento de las precipitaciones cronológicamente.

Un análisis del gráfico nos permite señalar que en los meses de junio y julio las precipitaciones son mínimas (11 mm.), y en los meses de enero y diciembre las precipitaciones son máximas (161 mm.), haciendo un promedio anual igual a 940 mm. el que nos demuestra que la precipitación es suficiente (500-1000 mm.). Según la clasificación de SENAMHI.

Un resumen de estos datos son:

- Lluvia anual promedio : 939.2 mm.
- Lluvia anual mínima (1976) : 531.4 mm.
- Lluvia anual máxima (1965) : 1202.5 mm.
- Lluvia mensual mínima (jun 77): 0.0 mm.
- Lluvia mensual máxima (dic 65): 276.8 mm.

#### 4.3.3 Caudal firme:

La determinación de este caudal para el proyecto permitirá:

- a.- Efectuar el dimensionamiento de las instalaciones hidráulicas, en base a la cantidad de agua disponible del río.
- b.- Contar con estimaciones estadísticas a largo y corto plazo para previsiones de carga.

c.- Determinar la eficiencia y tipo de máquina hidráulica a usar en base al gasto de agua.

El gasto o caudal de un río se obtiene por varios métodos de aforos, entre los que se mencionan: aforo directo, por vertedero, por titulación y con molinete. Este último siendo el de mayor uso y el más difundido por la exactitud de los datos obtenidos.

En el presente proyecto se hace uso del aforo con molinete ó medidor miniatura de flujo de corriente "BRAYSTOKE", teniendo en cuenta para su manejo la carta de calibración según catalogos del fabricante, en el apéndice No 4.1 se describe el manejo de este medidor (contometro), también el procedimiento de aforo por vadeo y la forma de instalar la mira hidrométrica.

En la lámina No 4.6 se muestra el perfil de cauce del río, justo ubicado en la estación de aforo (ver lámina No 4.4).

Para proyectar Minicentrales Hidráulicas, se recomienda efectuar aforos diarios durante 2 a 3 años como mínimo; sin embargo para nuestro proyecto solamente contamos con 7 aforos realizados durante los años 1983 y 1984, justo en las temporadas de estiaje (no fué posible la obtención de mayores datos por problemas de economía y tiempo). Este número de datos es razonable toda vez que se proyecta una central de agua fluente.

En el apéndice No 4.2 se muestra la planilla de aforos (medición de caudales), tomados en los meses representativos (estiaje).

Con los datos de aforos más los datos de la

mira hidrométrica confeccionamos el diagrama ó gráfico "curva-altura-gasto", según se muestra en la lámina No 4.5; esta curva nos permitía estimar los caudales para todas aquellas fechas en los que no fué posible el aforo, con solamente saber el nivel de aguas alcanzado en la mira hidrométrica (un hidromensurador del lugar se encarga de tomar estas lecturas diariamente).

Los datos tomados de la mira se muestran en el apéndice No 4.3 "Planilla de Lecturas de mira", promediadas diariamente.

A partir de los datos obtenidos graficamos los diagramas cronológicos de caudales mensuales y diarios (agosto mínimos caudales), las que son mostradas en la lámina No 4.7 .

Un resumen de estos resultados es:

- Caudal mínimo (agosto) :  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Caudal máximo (febrero) :  $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- caudal de avenida :  $12,0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

En la lámina No 4.5 se gráfico las lecturas de la mira hidrométrica (h) promediadas cronológicamente, junto con la curva de precipitación atmosférica ( $h_t$ ), a efectos de realizar el siguiente análisis: Los meses de abril, mayo, junio y julio son las temporadas de menor precipitación (jun - 11mm.), es así mismo la temporada calurosa del año, la explicación es que los caudales se mantienen gracias a los deshielos del glaciar (acumuladas durante las temporadas frías: enero, febrero y marzo; y por reflujo del agua filtrada, aguas arriba de la cuenca desde los estratos permeables hasta los impermeables aguas abajo de la cuenca).

El mes de agosto representa el periodo de estiaje y a su vez el comienzo de las precipitaciones, produciendose vientos cálidos y secos que permiten al hielo y la nieve el pase directo del estado sólido al estado de vapor, reduciendose por tanto considerablemente el caudal.

El mes de febrero representa el mes de los caudales de avenida ( $12 \text{ m}^3/\text{seg.}$ ), tambien es la temporada de lluvias, observandose que gran parte de las precipitaciones, penetra en los suelos filtrandose y trasladandose con extrema lentitud (pocos mm./hora), otra parte es consumida por la vegetación existente (gras, arboles, etc), y una tercera parte se evapora en el ambiente convirtiendose posteriormente en neblinas antes de poder elevarse para finalmente condensarse a mayor altitud, depositandose luego en los glaciares circundantes, el resto de agua es el que finalmente discurre por el rio manifestandose este caudal atravez de las lecturas en la mira

#### 4.3.4 Topografía:

El área del proyecto se encuentra en el flanco izquierdo del valle de Limbani, entre una seccion con relativamente poca pendiente aguas arriba de la bocatoma y aguas abajo justo antes de llegar al pueblo de Limbani. Para su ubicación correspondiente se cuenta con la carta ó mapa a escala 1:100000 (29X, Limbani) del Instituto Aerofotográfico del Perú.

En la lámina No 4.8 se muestra este mapa y en la lámina No 4.3 se muestra el mismo pero a escala ampliada 1:25000 en el que se muestran la ubicación de las estructuras.

En el plano No L.01/86 se muestra el levantamiento topográfico detallado del proyecto a escala 1:1000 .

Un resumen de datos para el proyecto es:

- altitud en la bocatoma : 3550,56 msnm
- altitud en la camara de carga: 3548,00 msnm
- altitud en la casa de fuerza : 3420,00 msnm
- longitud del trazo del canal : 980,00 m.
- altura de caída brúta : 128,00 m.

#### 4.3.5 Geología:

El cauce del rio Huancasayani presenta laderas fuertemente empinadas en roca metamórfica pizarrosa compacta, en otros trechos con flancos abiertos de pendientes más suaves, dichas geoformas como producto de las aguas torrentosas, se emplazan tambien sobre superficies fluvio-glaciares inconsolidadas, con restos morrénicos regularmente compactos, estos rezagos formando conos de terrazas en ambas laderas del rio visibles en las cercanías del pueblo.

El área del estudio se circunscribe al flanco izquierdo aguas arriba de la quebrada de Chinchelamani; el valle tiene la forma típica en "V" de un valle joven, es decir cumpliendo los comienzos de su ciclo de vida.

A continuación describimos la Ingeniería Geológica del terreno en cada una de las estructuras del proyecto.

#### Bocatoma:

La base semirrocosa está recubierta de material suelto, sometido a erosión continua que no permite edificaciones estables.

El paraje seleccionado para capturar el lí-

quido necesario es una explanada temporal en el cauce del río, con cuerpos sueltos de aluviales transportados por las aguas y eluviales caídos por gravedad de las elevaciones, las medidas de estos conformantes van desde los milímetros hasta los 2 ó 3 metros.

La rivera izquierda del río aguas abajo de la bocatoma, es la chata compacta recubierta de suelo fértil, la distancia al pié de monte es de 8-10 mts. ;mientras que la rivera derecha se compone de eluviales planos y angulosos de pizarra, este tipo de litología se debe a las cercanías del contacto entre estos depósitos y la pizarra maciza, del río al pié de la rivera y mide 40 m. de distancia aproximada.

Para la bocatoma solo se recomienda la construcción de una barrera pequeña, en tal sentido puede ser una valla que levante el nivel del agua, suficiente para garantizar la derivación requerida en épocas de estiaje.

#### Canal de Conducción:

El recorrido total del canal de conducción alcanza aprox. los 1000 m. con rumbo S 15° E desde la bocatoma.

Desde la bocatoma y desarenador, hasta el flanco derecho de la quebrada Lechojani, en los primeros 190 m. longitudinales no presenta problemas geológicos. El paso de la mencionada quebrada de 25 m. de ancho es sobre mayor acumulación de suelos inconsolidados, teniendo inclusive que atravesar un curso de agua con régimen constante y perpendicular al canal.

Del flanco izquierdo de la quebrada, hasta el emplazamiento de la cámara de carga, 850 úl-



timos metros, se contacta con 4 hendiduras de menor importancia, erosionadas débilmente por aguas temporales y por la labor del hombre fueron rebajados de inclinación.

La in consolidación de muchos trechos, la inclinación del talud, la ocurrencia de cursos de agua y un ojo acuífero que acrecienta especialmente en épocas de fuertes precipitaciones pluviales; obliga revestir el canal con cemento, de manera que sus paredes lisas generarán un movimiento uniforme del líquido, evitando así pérdidas por filtración y limitando al mismo tiempo el desgaste del canal por el exterior.

#### Cámara de carga:

La distancia más próxima al borde derecho de la quebrada de Chinchelamani de 42 m. aprox. lineales al N 12° E aleja la posibilidad de hundimientos, por desgaste del cauce de ésta quebrada.

Las bases de la cimentación se asentaran sobre los restos morrénicos que profundizan unos 40 m. medidos en las laderas de la quebrada de Chinchelamani.

Siendo recomendable diseñar un reservorio de regulación que no implique grandes cambios topográficos, de capacidad tal que no ocasione vaciados rápidos del acueducto durante el funcionamiento de las turbinas; asegurando por tanto mínima presión en la base morrénica.

#### Tubería Forzada:

El rumbo de la tubería es N 86° E, desciende sobre talud cuaternario por 240 m. inclinadas

cuyo gradiente promedio es 60 - 65 %, finalmente, hasta que finalmente la distancia vertical alcanza los 128 m.

El conducto se acomodará por encima de la superficie de limo suelto que recubre la morrena en algunos tramos; y en gran parte se acomodara directamente sobre ésta.

La cimentación para los bloques de anclaje y los apoyos se fijarán sobre la morrena, la disposición de la tubería será procurando lograr la perpendicularidad a las curvas de nivel, evitándose pérdidas de carga por cambio de dirección.

Se concluye que el espacio terrestre se adecua para el asentamiento del acueducto, apesar de la ausencia de roca firme.

#### Casa de Fuerza:

La plataforma de aluviales, que servirá para situar la futura casa de máquinas, se muestra morfológicamente idónea, para la magnitud del proyecto; en ella se encuentran otras instalaciones construida como un colegio y un local cerrado que es la piscina.

La planicie muestra terrenos transportados por las aguas pluviales; y productos détricos, arenas, cantos rodados, estando el material menudo recubierta de vegetación.

Será preciso que la base se desarrolle, soterrano lítico, el área esta entre bofedales y sumideros de aguas termales.

#### Recomendaciones para el diseño de Ingeniería:

1.-La humedad natural de las muestras en la cámara de carga es 10%, esta humedad corresponde al agua estable que todo material po-

see, no es producto de filtraciones de agua atmosférica ú otro tipo.

Es necesario que se évite en lo posible el contacto con estas aguas, pues la tállita o arcilla morrénica tiende a dilatarse con contenidos mayores de húmedad, lo que será contraproducente en las obras; se recomienda canales de drenaje en sitios con presencias de aguas, como quebradas, partes superiores de las construcciones, etc.

2.-Respecto a la presión admisible no será mayor a  $0,8 \text{ kg/cm}^2$ , por consideraciones prácticas de tipo geológico

3.-El sistema de cimentación superficial recomendado por laboratorios para la cámara de carga y la tubería forzada, puede aplicarse para todas las construcciones del complejo por asentarse ellos en el mismo cuerpo de los restos morrénicos.

#### 4.4 POTENCIAL HIDROELECTRICO:

El potencial Hidroeléctrico disponible se obtiene como resultado de la evaluación de los recursos naturales como son la altura útil y el caudal aprovechable.

Según resultados calculados en el acápite 5.1.5.2 el salto neto ó útil ( $H_n$ ) es igual a 124,8 m., siendo el salto brúto igual a 128 m. (según acápite 4.3.3).

Sí la central trabajara con un caudal no regulado (derivable) igual al de estiaje  $0,5 \text{ m}^3/\text{seg}$ . (según acápite 4.3.2), la potencia máxima aprovechable sería igual a 468 kW, calculada según:

$$P = 7,5 \cdot Q \cdot H_n \quad : \text{ kW} \quad (4.1)$$

Donde:  $Q =$  caudal no regulado  $0,5 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

$H_n =$  salto neto, 124,8 m.

Como la central trabajará con su potencia máxima en un intervalo relativamente corto de tiempo, se perdería inútilmente gran cantidad de volumen de agua en las horas de menor demanda.

Mediante la construcción de un "reservorio de regulación diaria", se podría aumentar la capacidad de la central hasta lograr satisfacer la máxima demanda del PSE Limbani (495 kW., año 2012). Sin comprometer con ello la estabilidad geológica del terreno (ver acápite 4.3.4), entonces se propone la construcción de la cámara de carga que haga las veces de un Reservorio de Regulación Diario, cuyo volumen sea capaz de almacenar suficiente energía para las horas de mayor demanda, hasta conseguir por lo menos 500 kW. de potencia hidráulica.

Para esta potencia el caudal "regulado" se obtiene mediante la expresión 4.1, que viene a ser igual a  $0,55 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Entonces el volumen de la cámara de carga para una hora de servicio (hora de punta) será:

$$V = 1 \cdot 3600 \cdot (Q_{\text{reg}} - Q_{\text{no reg}})$$

Donde:  $Q_{\text{reg}}$  = caudal regulado,  $0,55 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

$Q_{\text{no reg}}$  = caudal no regulado,  $0,50 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

Se obtiene:  $V = 180 \text{ m}^3$

Luego los parámetros principales del proyecto son:

- Salto neto o altura útil : 124,8 m.
- Caudal no regulado o derivable :  $0,50 \text{ m}^3/\text{seg}$ .
- Caudal regulado o aprovechable :  $0,55 \text{ m}^3/\text{seg}$ .
- Volumen de cámara de carga :  $180 \text{ m}^3$
- Potencia hidráulica estimada : 500 kW.
- Máxima demanda de PSE Limbani : 495 kW.

#### 4.5 EQUIPAMIENTO DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA:

A fin de satisfacer la Demanda eléctrica del PSE, para todo el horizonte de planeamiento, se propone

fraccionar la potencia instalada, mediante la implementación de 2 grupos hidráulicos cada uno con una capacidad de 250 kW., y su implementación será de acuerdo al desarrollo real de la Máxima Demanda del PSE Limbani.

En principio de acuerdo al desarrollo de la máxima demanda pronosticada se propone equipar así:

- Año 0 (1988) : Se instalará el 1<sup>o</sup> grupo, 250 kW.
- Año 5 (1993) : Se instalará el 2<sup>o</sup> grupo, 250 kW.

En la lámina No 4.9 se muestra el plan de equipamiento de la central de acuerdo a la máxima demanda pronosticada para el PSE Limbani.

CUADRO 4.1

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

DIRECCION DE METEOROLOGIA  
DIVISION DE CLIMATOLOGIA

ESTACION DE : LIMBANI , PLU-7417  
OBSERVACION : PRECIPITACIONES ATMOSFERICAS

LATITUD : 14° 9' DPT. : PUNO  
LONGITUD: 65° 5' PROV. : SANDIA  
ALTITUD : 3350 msnm DISTR.: LIMBANI

| meses años      | Ene.  | Feb.  | Mar.  | Abr.  | May. | Jun. | Jul. | Ago.  | Set.  | Oct.  | Nov.  | Dic.  | total  |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1964            | 29,0  | 148,6 | 168,5 | 111,7 | 17,8 | 0,0  | 11,1 | 74,3  | 85,9  | 72,4  | 92,5  | 148,8 | 993,5  |
| 1965            | 210,6 | 223,7 | 122,3 | 64,8  | 8,2  | 0,7  | 40,5 | 19,1  | 98,3  | 81,5  | 56,0  | 276,8 | 1202,5 |
| 1966            | 147,5 | 150,6 | 139,2 | 44,7  | 59,0 | 20,7 | 10,6 | 30,7  | 5,7   | 131,7 | 98,0  | 118,5 | 886,9  |
| 1967            | 136,7 | 151,2 | 220,9 | 51,5  | 7,0  | 16,8 | 16,5 | 21,8  | 50,3  | 115,9 | 88,9  | 238,7 | 1115,5 |
| 1968            | 180,9 | 198,4 | 132,2 | 53,8  | 2,8  | 0,0  | 31,1 | 43,6  | 43,9  | 90,8  | 119,7 | 92,4  | 989,6  |
| 1969            | 175,6 | 192,7 | 64,4  | 12,3  | 27,4 | 9,9  | 0,0  | 10,4  | 31,9  | 70,4  | 109,8 | 138,0 | 842,8  |
| 1970            | 189,3 | 99,5  | 207,3 | 103,2 | 15,9 | 18,7 | 1,7  | 4,1   | 67,2  | 98,6  | 46,8  | 211,5 | 1063,8 |
| 1971            | 196,4 | 234,8 | 119,5 | 64,9  | 10,7 | 41,7 | 1,9  | 27,4  | 37,1  | 98,0  | 143,0 | 150,4 | 1125,8 |
| 1972            | 147,1 | 158,9 | 112,9 | 54,7  | 8,2  | 9,7  | 8,1  | 160,1 | 54,4  | 86,3  | 139,4 | 145,7 | 1095,5 |
| 1973            | 211,7 | 126,4 | 93,4  | 36,4  | 15,4 | 4,6  | 40,4 | 23,9  | 51,7  | 47,4  | 79,0  | 130,6 | 920,9  |
| 1974            | 228,7 | 111,3 | 45,2  | 80,4  | 2,1  | 3,1  | 27,7 | 118,2 | 43,7  | 80,0  | 35,7  | 85,6  | 861,7  |
| 1975            | 92,3  | 102,2 | 85,8  | 42,8  | 47,1 | 28,3 | 9,0  | 28,6  | 76,8  | 69,7  | 76,5  | 176,4 | 833,7  |
| 1976            | 176,7 | 100,3 | 73,4  | 45,1  | 44,9 | 3,2  | 1,3  | 0,5   | 2,4   | 2,1   | 2,0   | 79,5  | 531,4  |
| 1977            | 63,1  | 125,8 | 81,1  | 34,3  | 14,6 | 0,0  | 14,7 | 2,7   | 2,4   | 72,6  | 103,9 | 131,0 | 646,2  |
| 1978            | 200,4 | 122,1 | 109,0 | 53,9  | 32,4 | 2,5  | 13,6 |       |       |       |       |       |        |
| 1982            | 91,8  | 94,5  | 216,0 | 103,2 | 9,9  | 18,4 | 1,7  | 59,2  | 118,6 | 105,8 | 46,8  | 211,5 | 1057,4 |
| promed. mensual | 161,1 | 140,4 | 119,3 | 63,6  | 20,2 | 11,1 | 14,4 | 41,5  | 51,3  | 80,8  | 82,4  | 153,1 | 939,2  |

## INGENIERIA DEL PROYECTO

5.1 OBRAS CIVILES:5.1.1 Generalidades:

Existen planos típicos de las principales obras civiles para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), elaboradas por el Ing<sup>o</sup> Tsuguo Nozaki (Experto enviado por el gobierno del Japon, bajo el plan de cooperación técnica para los países Latinoamericanos, JICA); en su volúmen "Guía para la Elaboración de Pequeñas Centrales Hidroelectricas".

El criterio principal para la elaboración y aplicación de estos diseños, es que deben ofrecer una solución económica y a la vez segura de los variados problemas que aparecen en el aprovechamiento de los Potenciales Hidráulicos.

Sin embargo como la Topografía, Hidrología y Geología son diferentes en cada caso no pueden aplicarse diseños estandarizados para todas las construcciones civiles, a menos que se adecuen los diseños cuidandose en no perjudicar la eficiencia o economía de la obra.

Por consiguiente para el caso del presente

proyecto se tendrá en cuenta para su diseño las recomendaciones referentes a topografía, hidrología y geología; desarrolladas ampliamente en el capítulo anterior y en cada caso se tendrá que hacer las consideraciones precisas para su mejor aprovechamiento.

#### 5.1.2 Obras de Captación:

Los elementos que constituyen éstas obras son: el barrage de derivación, la bocatoma y el desarenador. Su diseño depende de los siguientes parámetros:

- a.- Su ubicación en el curso del río (en recta o en curva).
- b.- Configuración del terreno (pendiente del cauce/río, ancho del valle, etc).
- c.- Caudal por derivarse y ángulo de desvío.
- d.- Régimen del río (caudales máximos y mínimos), en relación al caudal por captarse.
- e.- Acarreo de material, cantidad, frecuencia y tamaño de los cuerpos flotantes.

##### 5.1.2.1 Barraje de Derivación:

El barrage permite captar las aguas del río desviándolas y levantándolas el nivel de agua para facilitar la entrada hacia la bocatoma y canal de alimentación.

El barrage propuesto es del tipo rústico construido a base de tabloncitos de madera reforzados con perfiles de hierro, anclados al cauce del río por medio de champas y piedras.



El barraje es del tipo parcial, es decir estará compuesto por dos sub-barrajes, quienes cumplirán las siguientes funciones:

Barraje 1.- Ubicada en contra del sentido de la corriente, útil para la captación de aguas en las temporadas de estiaje (julio, agosto y septiembre), éste barraje será retirado el resto de los meses del año.

Barraje 2.- Ubicada en el sentido de la corriente del río, útil para la captación de aguas en las temporadas tanto de estiaje como en los de avenida (todos los meses del año).

Para el diseño, la altura del barraje sobre el fondo del río será  $3h$  (referencia: Tsuguo Nozaki), siendo "h" el tirante de agua en el canal de conducción ( $h=0,6$  m.), por tanto la altura de éste barraje respecto al fondo será  $H=1,8$  m.

Las dimensiones y esquemas constructivos se muestran en el plano No L.03/86 .

#### 5.1.2.2 Bocatoma:

Esta estructura será ubicada en un tramo curvo del río, ésta ubicación permitirá que en las épocas de avenidas no entre a la bocatoma arena y piedras, que impida y haga difícil el paso del agua para su derivación.

Los componentes constructivos de la bocatoma y sus funciones que cumple son las siguientes:

1.- La Antecámara (zona de decantación), este componente permite decantar (depositar), materiales gruesos como gravas, arenas y hojas herbáceas para luego desalojarlos a través de la compuerta de descarga. Su nivel de entrada es igual al nivel natural del río. Esta estructura permite el ingreso del agua con menor contenido de desperdicios y desechos.

2.- La descarga de fondo: sirve para eliminar todo el material que el río pueda traer, mediante una compuerta metálica, manejable a mano desde un puente que se eleva encima del nivel de agua de máxima avenida.

3.- La solera de Captación: El nivel de la solera será mayor o igual a 30 cm. encima del nivel de la antecámara y tendrá suficiente longitud como para que la velocidad del agua en este punto no pase los 0,5 m/seg.

4.- El vertedero de alivio: Sirve para eliminar el exceso de agua en épocas de avenida, hasta quedar por debajo de los puentes de manejo de la compuerta, accesos y otras partes de la construcción que no deben inundarse.

El desripador: Es una profundización de la solera del canal de 30 X 30 cm.

con un talud de entrada 1:1 y una compuerta de purga. Su ubicación es justo antes de la reja fina.

6.- La reja fina: Ubicada entre la solera de captación y el canal de conducción, tendrá 5 cm. de paso e impedirá principalmente el acarreo de hojas herbáceas.

7.- La compuerta de admisión: Ubicada detrás de la reja fina, útil para controlar la admisión de agua hacia el canal de aducción del desarenador.

Los diseños y dimensiones correspondientes de cada uno de los componentes de la bocatoma se detallan en el plano No L.03/86 .

#### 5.1.2.3 Desarenador:

Es la estructura que permite la sedimentación de materiales sólidos arrastrados por el agua. Para centrales con turbinas Francis se recomienda eliminar todos los granos de arena de dimensiones mayores a 0,3 mm. de diámetro, inhibiendo la decantación de arena en el canal.

Se recomienda velocidades del agua no superiores a 0,3 m/seg. para conseguir una buena decantación del material.

Para el presente proyecto el desarenador es ubicado justo después de la bocatoma, sus dimensiones se han calculado tomando en cuenta las siguientes

consideraciones de diseño:

- a.- Caudal igual a 0,5 m<sup>3</sup>/seg.
- b.- Tamaño de partículas a sedimentar hasta de 0,3 mm.
- c.- Dimensiones del desarenador:  
La longitud efectiva (largo) del canal viene dada por:

$$L = V \cdot H \cdot T \cdot C$$

Donde:

V = Velocidad del agua en el desarenador,  $V=Q/A$

Q = Caudal que recorre 0,5 m<sup>3</sup>/seg.

A = Sección transversal del desarenador,  $A=B.H$

B = Ancho del desarenador

H = Profundidad media, asumido 1,8 m.

T = Tiempo de sedimentación, lo calculamos de acuerdo a la figura 5.1, para partículas de hasta 0,3 mm. será 25 seg.

C = Capacidad de desarenación(1,5 -2,0), asumido 1,8

Asumiendo la relación  $L/B= 5$ , y efectuando los calculos correspondientes obtenemos:

$$L = 10,5 \text{ m.}$$

$$B = 2,1 \text{ m.}$$

- d.- La velocidad del agua según lo anterior es 0,132 m/seg. valor que esta por debajo del máximo recomen

dado (0,3 m/seg.)

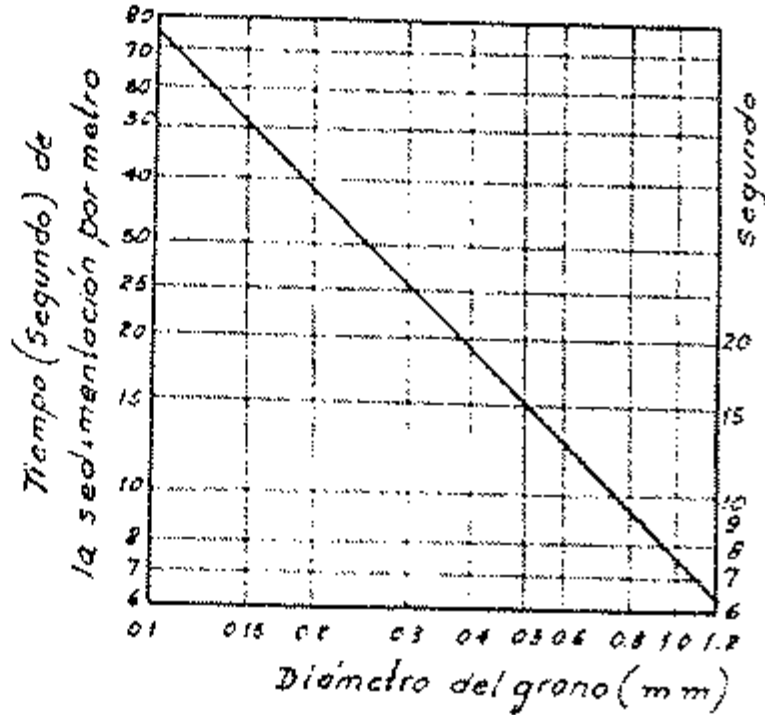


Fig. 5.1 - Relación entre grano y tiempo de sedimentación.

Un resumen de las dimensiones del desarenador es:

- Longitud efectiva(L) : 10,5 m.
- Ancho del desarenador(B) : 2,1 m.
- Profundidad media(H) : 1,8 m.

Los diseños y dimensiones del desarenador se muestran en el plano No L.03/86 .

### 5.1.3 Canal de Conducción:

Estructura útil para trasladar el agua desde la bocatoma hasta la cámara de carga, el agua circulará por acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie del líquido está en contacto directo con la atmósfera.

Para que las turbinas puedan utilizar eficazmente la mayor parte del salto, conviene destinar un valor muy pequeño de este a la circu

lación del agua; pero teniendo cuidado que es to lleva aparejo el tener que construir canales con mayor sección, originando decantación de arenas y originando aumentos en el costo de construcción por kW útil.

Para elegir una pendiente técnico-económico favorable se deberá tener en cuenta lo siguiente:

En canales de mampostería ó hormigon, puede hacerse la velocidad "c" tan grande como convenga, pero no obstante para evitar la pérdida de salto útil, es conveniente no alejarse del siguiente intervalo:

$$c = 0,8 \text{ a } 1,25 \text{ m/seg.} \quad (5.1)$$

Existe una relación practica entre la velocidad del agua y la pendiente del canal, las que se determinan según sus parametros constructivos. Al respecto tenemos la formula de Bazin dada por:

$$h_{o/oo} = \alpha \cdot (1 + \beta \cdot \frac{P}{A}) \cdot \frac{P}{A} \cdot C^2 \quad (5.2)$$

Donde:

$h_{o/oo}$  = Desnivel en metros por cada km. de recorrido del canal.

P = Perímetro mojado del canal, en m.

A = Sección del canal, en m<sup>2</sup>

$\alpha$  y  $\beta$  = Coeficientes que dependen de la naturaleza y estado de las paredes.

C = Velocidad del agua en el canal, m/seg.

Haciendo un analisis de la formula de Bazin (5.2), el canal de mínima pendiente es aquel

cuya relación "P/A" sea la menor posible. Esta relación es mínima para canales trapezoidales, cuando sus dimensiones cumple la siguiente relación:

$$b_o = 2 \cdot h / \text{sen } \theta \quad (5.3)$$

Donde:

$b_o$  = Lado mayor del canal o ancho de solera.

$h$  = Tirante de agua en el canal.

$\theta$  = Talud o inclinación del canal.

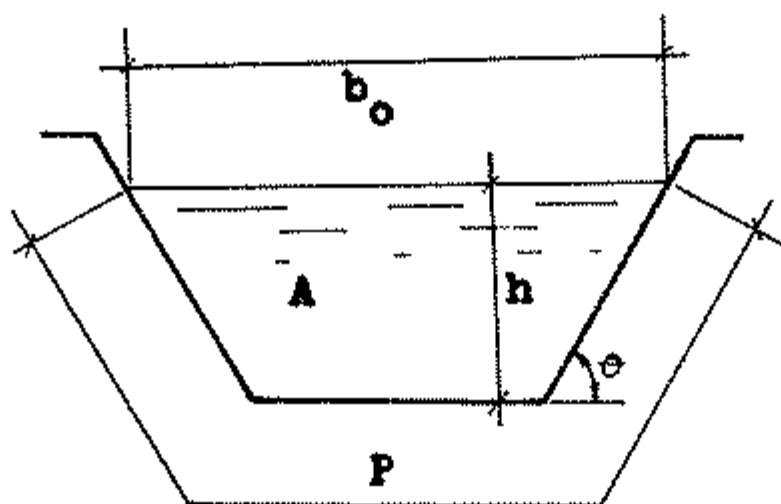


Fig. 5.2 - Dimensiones generales del canal.

Es posible la elección de otras formas de perfil del canal, a expensas de una pérdida de salto y por tanto de potencia, buscándose en todo caso la reducción del costo de construcción.

El flujo de agua en los canales viene expresado por la fórmula de Manning así:

$$C = \frac{R^{2/3} \cdot I^{1/2}}{n} \quad (5.4)$$

Donde:

$C$  = Velocidad del agua por el canal, m/seg.

$I$  = Pendiente del canal.

$R$  = Radio hidráulico del canal.

$n$  = Coeficiente de rugosidad de las paredes.

El dimensionamiento queda sujeto entonces a las expresiones: (5.1), (5.3) y (5.4) .

Para el presente proyecto de acuerdo a las inspecciones de campo (de caracter geológico y topográfico), el canal estará constituido por perfiles rectangulares y trapezoidales, siendo las paredes del canal totalmente revestidas.

#### 5.1.3.1 Canal Rectangular:

Esta forma del canal será ubicado entre los tramos 300 a 500 metros del trazo del canal; donde las pendientes transversales son pronunciadas, encontrándose por tanto espacios mínimos. En los planos No L.01/86 y L.02/86 se muestran sus diseños y ubicaciones correspondientes.

Para su dimensionamiento se tuvo en cuenta las recomendaciones efectuadas cuyos resultados son:

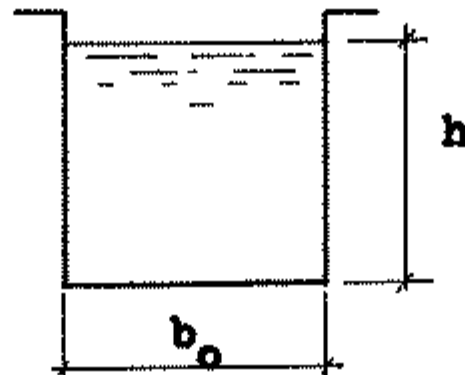


Fig. 5.3 - Perfil canal rectangular.

Donde:

$$b_0 = 0,5 \cdot h \quad ; \text{ ancho del canal.}$$

$$A = 0,5 \cdot h^2 \quad ; \text{ sección del canal.}$$

$$P = 2,5 \cdot h \quad ; \text{ perímetro mojado.}$$



$R = 0,2 \cdot h$  ; radio hidráulico.

$I = 0,005$  ó  $(1/200)$ , pendiente del canal.

$n$  = Coeficiente de rugosidad de las paredes del canal.

La velocidad del agua en el canal será:

$$c = Q / A \quad (5.5)$$

También según la expresión 5.4 :

$$c = \frac{1}{0,025} \cdot (0,2 \cdot h)^{2/3} \cdot (0,005)^{1/2} \quad (5.6)$$

Igualando (5.5) con (5.6) , obtenemos:

$$h = 1,02 \text{ m.}$$

$c = 0,98$  m/seg., valor que esta comprendido en la recomendación 5.1

Un resumen de las características del canal es:

Canal de concreto revestido.

|                          |                           |
|--------------------------|---------------------------|
| Caudal en el canal       | : 0,50 m <sup>3</sup> /s. |
| Pendiente del canal      | : 0,005                   |
| Rugosidad "n" de Manning | : 0,025                   |
| Tirante en el canal      | : 1,02 m.                 |
| Borde libre              | : 0,20 m.                 |
| Ancho del canal          | : 0,51 m.                 |
| Area mojada              | : 0,52 m <sup>2</sup> .   |
| Perímetro mojado         | : 2,55 m.                 |
| Radio hidráulico         | : 0,204 m.                |
| Velocidad del agua       | : 0,98 m/s.               |

En el plano No L.01/86 se muestra sus detalles correspondientes.

### 5.1.3.2 Canal Trapezoidal:

Esta forma del canal será útil donde las pendientes transversales sean moderadas, disponiéndose por tanto de un mayor espacio para su construcción. En nuestro caso hay dos tramos con perfiles trapezoidales, cuyas dimensiones son diferentes, adecuándose los mismos según el espacio disponible.

#### Tramo 0 - 300 m.

Para su dimensionamiento procederemos de manera similar al canal rectangular, tomando en consideración la figura (5.2)

Tenemos:

$$Q = 0,50 \text{ m}^3/\text{seg.} ; \text{caudal.}$$

$$\theta = 60^\circ ; \text{ Talud del canal asumido}$$

$$n = 0,025 ; \text{ coeficiente de rugosidad de pared del canal}$$

$$b_0 = 2,31 \cdot h ; \text{ ancho de solera del canal.}$$

$$b_1 = 1,15 \cdot h ; \text{ ancho base mojada del canal.}$$

$$A = 1,73 \cdot h^2 ; \text{ Sección del canal.}$$

$$P = 3,46 \cdot h ; \text{ Perímetro mojado.}$$

$$R = h/2 ; \text{ radio hidráulico}$$

$$I = 0,002 (1/500) ; \text{ pendiente longitudinal del canal.}$$

La velocidad del agua en el canal será:

$$c = Q / A \quad (5.7)$$

Tambien según la expresión (5.4) :

$$c = \frac{1}{0,025} \cdot (h/2)^{2/3} \cdot (0,002)^{1/2} \quad (5.8)$$

Igualando (5.7) con (5.8) , obtenemos:

$$h = 0,60 \text{ m.}$$

$c = 0,81 \text{ m/seg.}$ , valor que esta comprendido en la recomendación (5.1)

Un resumen de las características del canal es:

**Canal de concreto revestido**

|                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| Caudal en el canal        | : 0,50 m <sup>3</sup> /s. |
| Pendiente del canal       | : 1/500                   |
| Rugosidad "n" de Manning  | : 0,025                   |
| Tirante en el canal       | : 0,60 m.                 |
| Borde libre               | : 0,20 m.                 |
| Ancho de solera del canal | : 1,38 m.                 |
| Ancho base mojada         | : 0,69 m.                 |
| Angulo de talud del canal | : 60°                     |
| Area mojada               | : 0,623 m <sup>2</sup>    |
| Perímetro mojado          | : 2,07 m.                 |
| Radio hidráulico          | : 0,30 m.                 |
| Velocidad del agua        | : 0,81 m/s.               |

Tramo 500 - 980 m.

Los parámetros de diseño son:

$Q = 0,50 \text{ m}^3/\text{seg.}$ ; caudal en el canal.

$\theta = 75^\circ$  ; talud de canal.

$n = 0,025$  ; Coef. de rug. de pared

$b_o = 2,07 \cdot h$  ; Ancho de solera del canal.

$b_1 = 1,53 \cdot h$  ; ancho base mojada.

$A = 1,80 \cdot h^2$  ; sección del canal.

$P = 3,60 \cdot h$  ; perímetro mojado.

$R = h/2$  ; radio hidráulico.

$I = 0,0026$  (1/500); pendiente del canal.

Procediendo al igual que el caso anterior obtenemos:

$h = 0,59$  m.

$c = 0,80$  m/seg., valor que esta comprendido en la recomendación (5.1)

Un resumen de las características del canal es:

Canal de concreto revestido.

|                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| Caudal en el canal        | : 0,50 m <sup>3</sup> /s |
| Pendiente del canal       | : 1/500                  |
| Rugosidad "n" de Manning  | : 0,025                  |
| Tirante en el canal       | : 0,59 m.                |
| Borde libre               | : 0,20 m.                |
| Ancho de solera del canal | : 1,22 m.                |
| Ancho de base mojada      | : 0,90 m.                |
| Angulo de talúd del canal | : 75°                    |
| Area mojada               | : 0,626 m <sup>2</sup>   |
| Perímetro mojado          | : 2,12 m.                |
| Radio hidráulico          | : 0,29 m.                |
| Velocidad del agua        | : 0,80 m/s               |

Tambien la pérdida de salto por recorrido total del canal es : 2,56 m.

#### 5.1.4 Cámara de carga y Reservorio de Regulación:

Estructura que sirve de enlace entre la sección normal del canal y el ingreso del agua ha-

cia la tubería de presión.

Las funciones que cumple la cámara de carga principalmente son:

- 1.- Crea un paso del agua desde el canal a la tubería, adecuandola a las variaciones de carga requeridas por la turbina.
- 2.- Provee un rebose para el exceso de agua cuando las turbinas la soliciten menos que la disponible.
- 3.- Provee un almacenamiento del agua, a fin de aumentar la potencia eléctrica de la central creando un caudal de agua del tipo regulado.

Las consideraciones que se tendrán presente al momento de efectuar su dimensionamiento son:

- a.- El agua no debe tener cambios bruscos de dirección al ingresar a la cámara, al atravesar la rejilla y al entrar en la tubería; así se evitará pérdidas de carga de relativa magnitud.
- b.- Ha de colocarse un cierre ante el origen de la tubería, para poder efectuar reparaciones en las turbinas; y para que el agua no se derrame de la cámara se dispondra de un aliviadero que sea capaz de desviar el máximo caudal que lleva el canal, asimismo este aliviadero servirá para separar el agua que no se emplea en las turbinas es las horas de menor demanda.
- c.- A fin de evitar que los sedimentos lleguen a las turbinas la toma de aguas hacia la tubería será en las capas superficiales, para esto se colocará un vertedero sumergido, obligando así a las aguas a un movimiento ascen-

cional; se dispondra de compuertas de limpia y rejilla para evitar la entrada en la tubería de cuerpos flotantes.

- d.- Conviene que la entrada de agua en la tubería sea sin gran contracción de la vena líquida y sin la formación de remolinos. El primero constituye una pérdida de carga y el segundo origina arrastre de aire, los que ocasionarán flujo turbulento y golpe de ariete en la tubería, por tanto mal funcionamiento de las turbinas.
- e.- Para impedir la contracción de la vena líquida se dará a la embocadura de la tubería forma abocinada aumentando en su origen la sección de entrada en un 20%, procurando que la velocidad de entrada no sea superior de 1,5 m/seg.
- f.- La entrada de la tubería de presión debe quedar por lo menos a 0,8 m. por debajo del nivel de aguas, para evitar que las depresiones ocasionen entradas de aire.

#### Dimensionamiento:

Para su dimensionamiento se tendrá en cuenta las recomendaciones hechas y buscandose obtener un volúmen para la cámara de carga igual a 180 m<sup>3</sup>, que es el necesario para el reservorio de regulación diario (volumen calculado en acapite 4.4).

Las dimensiones más representativas de la cámara de carga son su ancho ( $B_0$ ), el tirante de agua ( $H$ ) y su longitudinal ( $L$ ).

Observando las recomendaciones del Ing Tsuguo Nozaki (Guia para la elaboración de PCH), las dimensiones que se adecuan al volúmen de la

cámara de carga serán:

$$B_0 = 2,9 \text{ m.}$$

$$H = 3,2 \text{ m.}$$

$$L = 19 \text{ m.}$$

A continuación se verifica las dimensiones de la Cámara de carga mediante la "velocidad límite", que según Dubbust para arena fina esta velocidad es igual a 0,16 m /seg.

La velocidad del agua aproximadamente será:

$$v = Q / A$$

Donde:

Q = caudal que se desplaza por la cámara de carga, m<sup>3</sup>/seg. (0,55)

A = B<sub>0</sub> . H = 9,28 m<sup>2</sup> ; Sección media de la cámara.

Se obtiene:

v = 0,059 m/seg., valor que es menor a la máxima recomendada (0,16 m/s)

Las características de construcción de la cámara de carga serán entonces:

|   |           |
|---|-----------|
| Carga de agua en el eje de la tubería de presión.       | : 3,2 m.  |
| Largo o longitudinal.                                   | : 19,0 m. |
| Ancho de cámara.  | : 2,9 m.  |
| Borde libre.  | : 0,2 m.  |
| Longitud de aliviadero.                                 | : 12,0 m. |
| Tirante de agua a la entrada del canal de desarenación. | : 3,2 m.  |
| Ancho del canal de desarenación                         | : 1,0 m.  |

|   |                              |
|---|------------------------------|
| Tirante máximo en el canal de desarenación.                   | : 4,0 m.                     |
| Sobreelevación para impedir la entrada de arena a la tubería. | : 1,45 m.                    |
| Dimensiones de la compuerta de desarenación.                  | : 0,7 X 0,7 m <sup>2</sup> . |
| Distancia entre el canal de material flotante y la compuerta. | : 2,9 m.                     |
| Altura de la compuerta principal.                             | : 0,8 m.                     |
| Volúmen de almacenamiento.                                    | : 180 m <sup>3</sup> .       |

En el plano NoL.04/86 esta la ubicación y dimensiones correspondientes a la cámara de carga.

#### 5.1.5 Tubería de Presión:

Estructura útil para conducir el agua desde la cámara de carga a las turbinas.

El material de tubería puede ser los de acero y de asbesto-cemento. Por su robustez y adaptabilidad al diámetro requerido, emplearemos la primera que será de plancha de acero de calidad estructural y laminadas en caliente.

Las tuberías de polietileno, PVC, fibra de vidrio, madera, etc. Son los indicados para su uso en Microcentrales Hidroeléctricas, por su disponibilidad en diámetros menores y su economía.

Existen tres formas distintas de instalar la tubería de acero, para su adecuación debida describimos cada uno de ellos:

- 1.- Tubería de superficie instalada en línea recta entre bloques de anclaje, soldadas en forma continua y con soportes interme-



dios a intervalos de 5 a 10 metros. Este tipo de instalación es favorable para su mantención, sin embargo deberá existir roca a pocos metros de la superficie debido a que los bloques de anclaje deberán ser cimentadas en roca.

2.- Tuberías soldadas o unidas en forma contínua con anclajes solamente en la cámara de carga y en la casa de máquinas (tubería hiperestática). Con algunos apoyos intermedios en los cambios de dirección de la tubería. Los mismos que deberán estar enterrados.

3.- Tubería flexible con uniones, cada pieza de tubería de 5 a 10 metros, será anclada individualmente y unida en forma flexible en ambos lados. Este tipo de instalación permite evitar soldaduras en el sitio y es adecuado para los casos en los cuales las condiciones del terreno son pobres para la instalación de bloques de anclaje intermedios o donde pueda ocurrir asentamientos peligrosos.

Para el presente proyecto elejimos el segundo tipo de instalación, pues es el que más se adecua al análisis de geología y topografía desarrolladas en el acápite 4.3.5 .

#### 5.1.5.1 Número de Tuberías:

La elección del número de tuberías depende del número de grupos instalados y de la oportunidad en mantener la independencia del funcionamiento de estos grupos. Sin embargo a igualdad de caudal y de pérdida de carga una so

la tubería pesa y cuesta mucho menos que varias tuberías; para dos grupos hidráulicos una sola tubería es la indicada desde el punto de vista económico.

#### 5.1.5.2 Cálculo del Salto Neto:

Para el cálculo del salto neto se ha de tener en cuenta todas aquellas pérdidas producidas principalmente por pendientes y fricciones en la tubería y demás accesorios.

En centrales sin reservorio de regulación el salto bruto es la diferencia de desniveles desde la Bocatoma hasta el canal de fuga de la casa de máquinas.

En centrales con Reservorio de regulación, como es el caso del presente proyecto, el salto bruto es la diferencia de desniveles desde este reservorio hasta el canal de fuga de la casa de máquinas.

Las pérdidas que se presentan son: En la rejilla de la cámara de carga, por entrada de agua en la tubería de presión, por fricción en la tubería de presión, por curvas de la tubería de presión, por derivación de la tubería de presión, por curvas de la tubería de derivación, por reducción del diámetro en la tubería de derivación, por fricción en la válvula de admisión y por salida del agua al socaz.

Cada una de estas pérdidas lo estimamos de acuerdo a las recomendaciones del Ing. Tsuguo Nozaki (Guía para la elaboración de PCH).

A continuación se efectúan los cálculos para determinar cada uno de las pérdidas:

1.- Pérdida en la rejilla de la cámara de carga ( $h_1$ ):

Toma en cuenta la pérdida que se produce al pasar el flujo por entre los espaciamentos de las barras de la rejilla.

$$h_1 = 0,35 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

$v$  = Velocidad del agua antes de la rejilla, estimado en 1,0 m/seg.

$g$  = Aceleración de la gravedad, 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Obtenemos:  $h_1 = 0,020$  m.

2.- Pérdida por entrada a la tubería de presión ( $h_2$ ):

Se calcula mediante:

$$h_2 = 0,10 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

$v$  = Velocidad del agua después de la entrada en la tubería de presión, en el acápite 5.1.5.3 se calcula en 2,0 m/s.

Obtenemos:  $h_2 = 0,025$  m.

3.- Pérdida por fricción en la tubería de presión ( $h_3$ ):

Esta pérdida lo calculamos en función del caudal y el diámetro de tubería, siguiendo la recomendación del Apéndice No 5.1 ( cuadro No 1).

$Q = 0,55$  m<sup>3</sup>/seg.

$D = 0,60$  m., diámetro de tubería (calculada en acápite 5.1.5.3).

Luego la pérdida unitaria es  $0,8/100$ ; en consecuencia para una longitud de tubería de  $240$  m.

Obtenemos:  $h_3 = 1,92$  m.

4.- Pérdida por curvas en la tubería de presión ( $h_4$ ):

Esta pérdida también lo calculamos utilizando el Apéndice No 5.1, en función de los ángulos de la curva.

Observando el plano No L.05/86, notamos que hay tres ángulos de importancia ellos son:  $10^\circ$ ,  $12^\circ$ , y  $30^\circ$ .

Para una velocidad igual a  $2,0$  m/seg. y con  $v^2/(2 \cdot g) = 0,204$ , las pérdidas en función del ángulo de desvío es:

|       |                     |   |                |
|-------|---------------------|---|----------------|
| Para: | $\delta = 10^\circ$ | , | $h = 0,020$ m. |
|       | $\delta = 12^\circ$ | , | $h = 0,024$ m. |
|       | $\delta = 30^\circ$ | , | $h = 0,053$ m. |

5.- Pérdida por derivación de la tubería de presión ( $h_5$ ):

Viene dada por:

$$h_5 = \frac{v^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + K \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| $Q = 0,55$ m <sup>3</sup> /seg. | $Q_1 = Q/2 = 0,275$ m <sup>3</sup> /s. |
| $D = 0,60$ m.                   | $D_1 = 0,60$ m.                        |
| $v = 2,0$ m/seg.                | $v_1 = 0,91$ m/seg.                    |

En la siguiente figura se muestra los parámetros en juego:

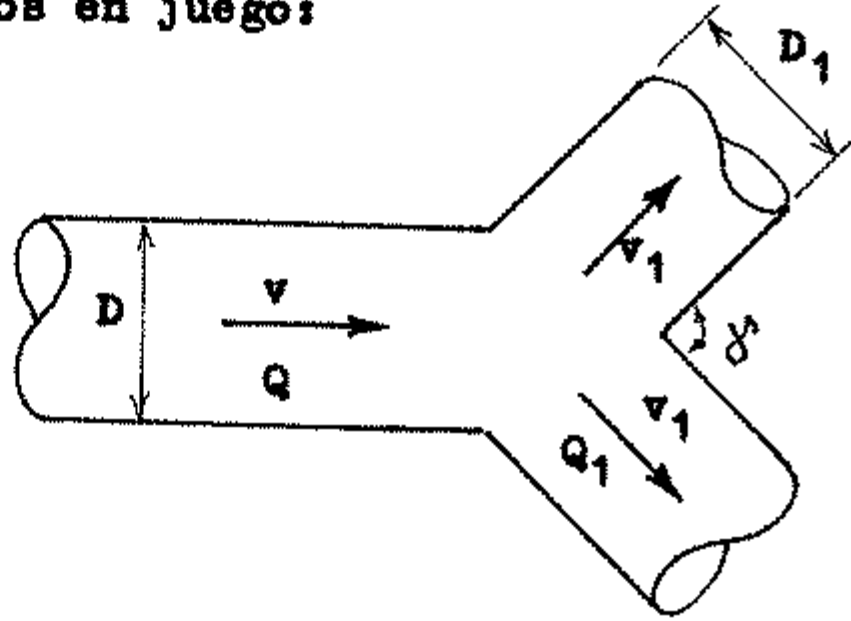


Fig. 5.4 - Derivación de la tubería de presión.

El coeficiente "K" depende de la relación  $D_1/D$  ,  $Q_1/Q$  y del ángulo de desvío de acuerdo a la siguiente tabla:

| $\delta$       | $Q_1 / Q = 0,3$ |      |      | $Q_1 / Q = 0,5$ |      |      |
|----------------|-----------------|------|------|-----------------|------|------|
|                | 90              | 60   | 45   | 90              | 60   | 45   |
| $D_1/D = 1,00$ | 0,61            | 0,58 | 0,58 | 1,00            | 0,79 | 0,75 |
| $K =$          | 0,72            | 0,59 | 0,35 | 0,75            | 0,54 | 0,32 |

En nuestro caso:  $Q_1/Q = 0,5$        $D_1/D = 1$   
 $\delta = 80^\circ$        $K \approx 0,75$

Obtenemos:  $h_5 = 0,191$  m.

6.- Pérdida por curva en la tubería de derivación ( $h_6$ ):

El cálculo es similar al Item 4 ,para una velocidad de 0,91 m/seg. y un ángulo de desvío igual a  $40^\circ$ .

Obtenemos:  $h_6 = 0,015$  m.

7.- Pérdida en la tubería de derivación por reducción del diámetro ( $h_7$ ):

Se calcula mediante:

$$h_7 = \frac{0,025}{8 \cdot \text{sen } \frac{\theta}{2}} \cdot \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

$$v_1 = 0,91 \text{ m/seg.}$$

$$v_2 = 5,60 \text{ m/seg.}$$

$$D_1 = 0,60 \text{ m.}$$

$$D_2 = 0,25 \text{ m. (definid}$$

$$\theta = 30^\circ, \text{ angulo de reducci3n.}$$

por la turbina)

En la siguiente figura se muestra los para  
metros en juego:

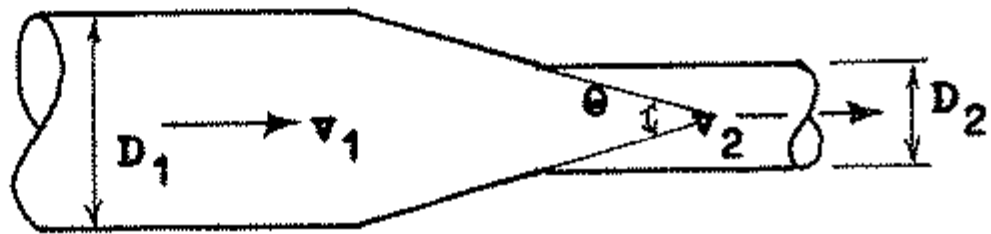


Fig. 5.5 - Reducción de la tubería de derivación.

Obtenemos:  $h_7 = 0,019 \text{ m.}$

8.- Pérdida en la válvula de admisión ( $h_g$ ):

Para nuestro proyecto se utilizará la val  
vula del tipo mariposa:

La pérdida se calcula mediante:

$$h_g = 0,52 \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

Donde:  $v_2 = 5,60 \text{ m/seg.}$

Obtenemos:  $h_g = 0,831 \text{ m.}$

9.- Pérdida de carga por salida del agua al socaz ( $h_g$ ):

Cuando sale el agua del tubo de aspiración de la turbina, para reintegrarse al caudal del río precisa de cierta velocidad, y para crearla requiere de una determinada columna de agua. Este es calculada mediante:

$$h_g = \frac{v_s^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

$v_s = 0,60$  m/seg., velocidad de salida del agua calculada en acápite 5.1.7

Obtenemos:  $h_g = 0,018$  m.

10.- Cálculo del Salto Neto (H):

El salto neto o altura neta será la diferencia del salto bruto menos las pérdidas arriba calculadas, es decir:

$$H = H_b - h_f$$

Donde:

$H_b = 128$  m., calculada en acápite 4.3.4 viene a ser el salto bruto.

$h_f =$  total de pérdidas

$$\sum_{i=1}^9 h_i = 3,17 \text{ m.}$$

Obtenemos:  $H = 124,8$  m.

En el plano No L.05/86 , se muestra los detalles correspondientes a la tubería de presión en cuanto a su ubicación y anclajes respectivos.

### 5.1.5.3 Cálculo del Diámetro Económico de Tubería:

El diámetro de tubería económico es aquel que determina las mejores condiciones técnico-económicas, en un compromiso entre el costo de la energía perdida en un año (por pérdidas de carga) y el valor de la inversión anual por concepto de la amortización del importe de la tubería.

La tubería será fabricada con planchas de a cero estructural, laminadas en caliente, con especificación correspondiente a ITINTEC EG-24, así como a las normas ASTM A283-GR C .

Las Propiedades mecánicas del material son:

|                                    |                          |
|------------------------------------|--------------------------|
| Límite de fluencia mínima          | : 21 kg/mm <sup>2</sup>  |
| Esfuerzo de Diseño o admisible,    | : 14 kg/mm <sup>2</sup>  |
| Peso específico del material       | : 7,85kg/cm <sup>3</sup> |
| Coef. de rugosidad del acero       | : 0,02                   |
| Coef. de resistencia por soldadu.: | (0,8-1,0)                |

Las tuberías pueden ser de diámetros constantes o decrecientes desde arriba hacia abajo. Para determinar el diámetro conveniente es necesario considerar previamente que toda la tubería tiene un diámetro constante para después estudiar las soluciones con diámetro variable.

En las tuberías de regular y de gran altura (mayor de 200 m.), conviene construir la t u b e r i a con diámetros decrecientes de arriba hacia abajo por sucesivos tramos.

Quando se trata de tuberías para saltos de poca altura como es el caso del presente proyecto, resulta practicamente que la mejor solución es el de diámetro constante.



A continuación deducimos la fórmula que nos da el diámetro más conveniente:

1.- Gastos que comprenden el interés del capital necesario a la adquisición de la Tubería y a su amortización:

El espesor medio de la tubería, suponiendo que ésta varíe en relación con la presión, viene expresado por la fórmula siguiente.

$$e = \frac{p \cdot d}{2 \cdot \sigma} \quad (5.7)$$

Donde:

e = Espesor de la tubería, mm.

p = Presión existente en la tubería, aumentada por la sobrepresión del golpe de aríete. m. de agua.

$\sigma$  = Esfuerzo de diseño a la tracción, kg/mm<sup>2</sup>.

El peso de la tubería se determina mediante la fórmula:

$$P = \frac{\pi \cdot d \cdot e \cdot \gamma \cdot L}{1000} \quad (5.8)$$

Donde:

P = Peso de la tubería, kgr.

d = Diámetro de tubería, m.

L = Longitud total de la tubería, m.

$\gamma$  = Peso específico del material, kg/m<sup>3</sup>

Reemplazando los valores de:  $\sigma = 14 \text{ kg/mm}^2$  y  $\gamma = 7850 \text{ kg/m}^3$ . En (5.7) y (5.8)

El valor de "P" viene dada por:

$$P = 1,1 \cdot p \cdot d^2 \cdot L \quad (5.9)$$

El costo de la tubería resulta entonces

$$C_1 = 1,1 \cdot c \cdot p \cdot d^2 \cdot L \quad (5.10)$$

Donde:

c = Coste del acero, \$ USA/kgr.

Luego el gasto anual por éste concepto resulta:

$$S = C_1 \cdot t \quad (5.11)$$

Donde:

t = Anualidad que comprende el interes y la amortización del importe de la tubería.

2.- Valor de la energía equivalente a las pérdidas de carga que se producen en la tubería:

La pérdida de carga "Y", la calculamos empleando la fórmula de Darcy:

$$Y = \beta \cdot \frac{q^2 \cdot L}{d^5} \quad (5.12)$$

Donde:

q = Caudal que depende de la carga, m<sup>3</sup>/s

$\beta$  = Constante de fabricación de la tubería;  $\beta = 0,0020$  - Tubería soldadas.  
 $\beta = 0,0025$  - Tubería remachada.

La energía pérdida en un año, por causa de las pérdidas en la tubería es la siguiente:

$$E = 9,81 \cdot \eta \cdot \sum (Y \cdot q \cdot n) \quad (5.13)$$

Donde:

$n$  = Duración del caudal genérico, horas

$\eta$  = Rendimiento completo del grupo.

Sustituyendo (5.12) en (5.13), tendremos:

$$E = 9,81 \cdot \eta \cdot \beta \cdot \frac{1}{d^5} \cdot L \cdot \sum q^3 \cdot n$$

Y poniendo:

$$Q^3 = (\sum q^3 \cdot n) / N$$

Donde:

$Q$  = Caudal medio anual,  $m^3/\text{seg}$ .

$N$  = Horas de utilización del caudal medio anual.

Llamando "f" al coste de la energía en \$ USA/kWh. , el coste o valor de la pérdida de energía será entonces:

$$E \cdot f = 9,81 \cdot \eta \cdot \beta \cdot \frac{1}{d^5} \cdot L \cdot Q^3 \cdot N \cdot f \quad (5.14)$$

### 3.- Coste total anual de la tubería:

Viene a ser la suma de las expresiones (5.11) y (5.14). Y la utilidad de la instalación será máxima cuando "S + E.f" sea mínima, para lo cual igualando a cero la primera derivada con respecto a la variable "d", resultando así el diámetro económico de tubería:

$$d = \sqrt[7]{\frac{5 \cdot 9,81 \cdot \eta \cdot \beta \cdot Q^3 \cdot N \cdot f}{2,2 \cdot t \cdot c \cdot p}} \quad (5.15)$$

A continuación se describen los valores que entran en juego en su dimensionamiento:

- $\eta$  : Rendimiento completo del grupo turbina-generador, 0,75
- $\beta$  : Constante de fabricación de turbina 0,002 .
- Q : Caudal medio anual, asumido  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$
- N : Horas de utilización anual del caudal medio, 8760 horas.
- f : Coste de la energía, 0,03 \$ USA/kWh
- t : Anualidad que comprende el interes y la amortización del importe de la tubería; amortizado con un interes anual del 15% con pagos trimestrales en un plazo de 10 años(caso típico), 0,049
- c : Coste del acero, 4,5 \$ USA/kgr.
- p : Presión promedio existente en la tubería incluido la sobrepresión por golpe de ariete, 162,24 m.

Finalmente obtenemos el diámetro económico reemplazando los valores tomados en la fórmula (5.15):  $d = 0,607 \text{ m}$ .

Tomamos:  $D = 0,60 \text{ m}$ .

También la velocidad del agua por la tubería será:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad , \quad Q = 0,55$$

$$v = 1,95 \text{ m/seg. (para fines prácticos } 2,0 \text{ m/seg.)}$$

#### 5.1.5.4 Espesor de la Tubería de Presión:

El espesor de la tubería está relacionado con la presión interna mediante la expresión siguiente:

$$e_{\min} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma} \quad (5.16)$$

Donde:

p = Presión media interna en la tubería incluido el golpe de ariete (30% de la altura neta),  $p = 1,3 \cdot H$ ; (H = 124,8 m.)

D = Diámetro económico de tubería calculada, 0,60 m.

$\sigma$  = Esfuerzo de diseño a la tracción, para acero estructural es  $14 \text{ kg/mm}^2$ .

Efectuando calculos se obtiene: 3,47 mm.

Al espesor calculado se deberá añadir un porcentaje para cumplir las condiciones de fabricación, transporte, montaje y corrosión de paredes. Por recomendación este valor debe estar de 3 a 5 mm.

Finalmente el espesor seleccionado será:

$$e = 6,35 \text{ mm. (1/4", espesor comerc.)}$$

#### 5.1.5.5 Cálculo del golpe de ariete:

Los fenomenos de perturbación se presentan en la tubería de presión a consecuencia de la variación del caudal (por variación de carga en el alternador), por la apertura ó obturación de la entrada de agua al distribuidor de la turbina; entonces la energía cinética de la masa de agua al ser aumentada o reducida en parte se transforman en e-

nergías de presión y calor, originándose en tonces el llamado golpe de ariete (sobrepresiones).

Al terminar de aperturar o cerrar el distribuidor las sobrepresiones oscilan hasta quedar amortiguadas por efecto de los rozamientos, torbellinos y cambios de dirección de los filetes líquidos.

Allievi estableció que el proceso alcanza un movimiento pulsatorio con ondas de presión que se propagan a lo largo de la tubería a una velocidad denominada "celeridad de las ondas", determinado por:

$$a = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{\epsilon}{E} \cdot \frac{D}{e}}} \quad (5.17)$$

Donde:

c = Velocidad de propagación del sonido en el agua, 1420 m/seg.

$\epsilon$  = Módulo volumétrico de elasticidad del agua a 10 °C, 22500 kg/cm<sup>2</sup>.

E = Módulo de elasticidad del material de la tubería, 2 . 10<sup>6</sup> kg/cm<sup>2</sup>.

D = Diámetro de tubería, 0,60 m.

e = Espesor de tubería, 0,00635 m.

Luego la celeridad de las ondas para nuestra tubería será:

$$a = 988,6 \text{ m/seg.}$$

El tiempo que demora en desplazarse la onda de presión desde el distribuidor hasta que vuelva a ésta, se le denomina tiempo crítico. Se calcula mediante:

$$u = \frac{2 \cdot L}{a}$$

Donde:

L = Longitud de la tubería, 240 m.

Entonces el tiempo crítico para la tubería será:

$$u = 0,485 \text{ seg.}$$

Según sea el tiempo de cierre del distribuidor " $T_r$ ", menor igual o mayor al tiempo crítico " $u$ ", se presentara golpe de ariete con cierre brusco o lento, con magnitudes distintas, a continuación se efectuan sus cálculos correspondientes:

1.- Golpe de ariete con cierre brusco:

Ocurre cuando:

$$T_r \leq u$$

La sobrepresión se obtiene entonces por:

$$\Delta H = \frac{a}{g} \cdot (v_0 - v_1) \quad (5.18)$$

Donde:

$v_0$  = Velocidad de régimen en la tubería de presión, 2,0 m/seg.

$v_1$  = Velocidad final en la tubería después de la maniobra, 0 m/seg.

g = Aceleración de la gravedad, 9,81 m/seg<sup>2</sup>.

Efectuando cálculos obtenemos:

$$\Delta H = 201,55 \text{ m.}$$

En realidad ésta sobre-presión no ha de ocurrir, es decir la velocidad " $v_1$ " nunca será cero, pues los reguladores de las turbinas utilizan la doble regulación mediante el cual parte de las aguas innecesarias son desviadas directamente al socaz de la casa de maquinas. Y el tiempo de cierre de los reguladores automáticos esta arriba de 2 seg.

2.- Golpe de ariete con cierre lento:

Ocurre cuando:

$$T_r > u$$

Al respecto tenemos los siguientes parámetros de cálculo:

$$\theta = \frac{T_r}{u} \quad (5.19)$$

$$f = \frac{a \cdot V}{2 \cdot g \cdot H} \quad (5.20)$$

$$\xi_m = \frac{f}{2 \cdot \theta} + \sqrt{\left(\frac{f}{2 \cdot \theta}\right)^2 + 1} \quad (5.21)$$

$$\Delta H = H \cdot (\xi_m^2 - 1) \quad (5.22)$$

Donde:

$\theta$  = Tiempo relativo de cierre.

$V$  = Velocidad del agua en regimen permanente.

$H$  = Salto neto o Altura neta.

$f$  = Número de Allievi.

$\Delta H$  = Sobre-presión

$\xi_m^2$  = Presión relativa en el obturador.



Para el cálculo de  $\xi_m^2$ , en función de  $\rho$  y  $\theta$ , Allievi ha establecido un ábaco, según se muestra en la fig. 5.6

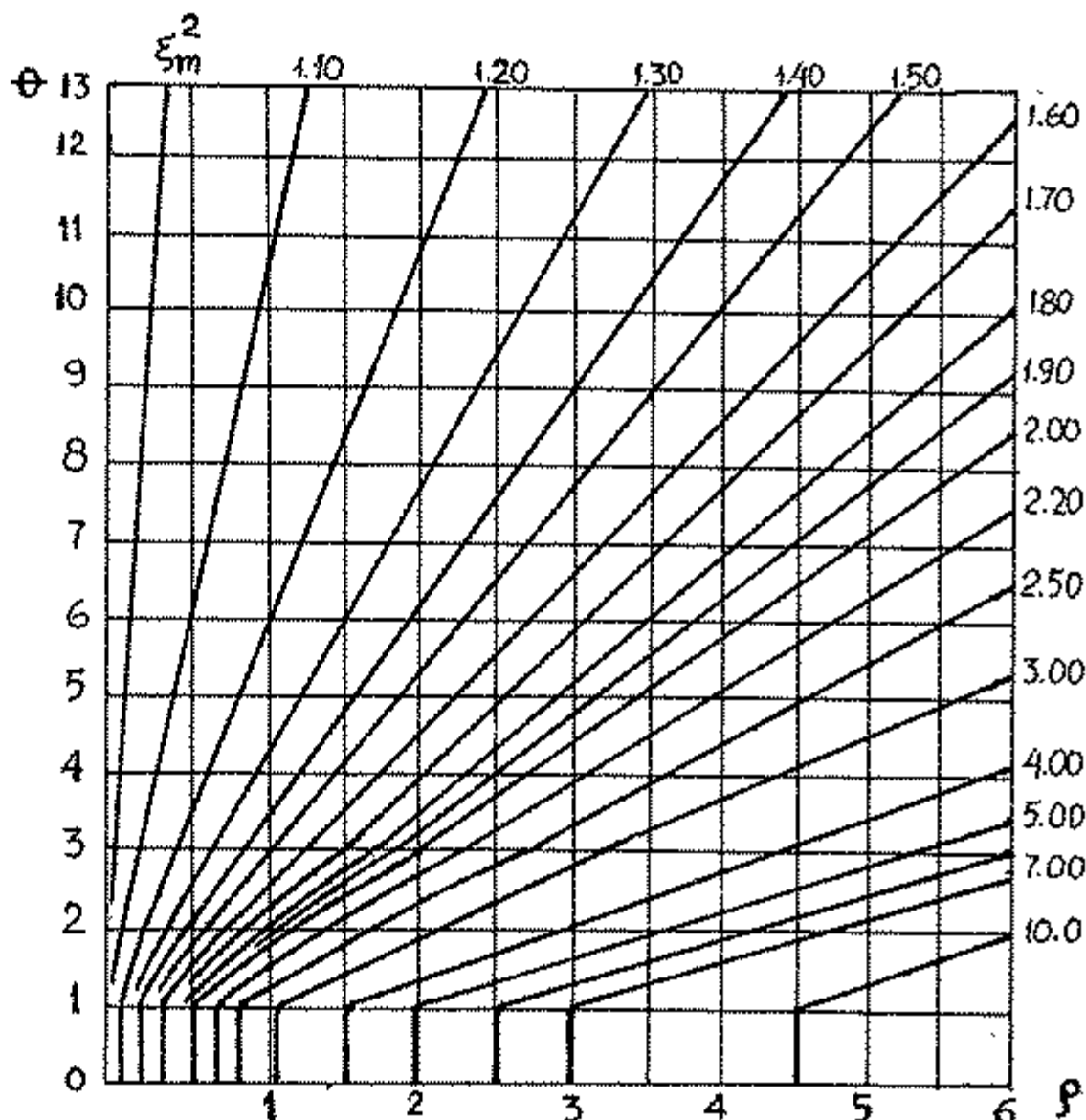


Fig. 5.6 - Abaco de Allievi para obtener la máxima presión al cerrar el distribuidor de la turbina.

Con cierre lento, se presenta 2 casos problemáticos a saber:

- a) Determinación del tiempo de cierre mínimo para que la sobrepresión al final de la tubería no exceda del 30%, esto es:  $\Delta H = 0,3 \cdot 124,8 \text{ m} = 37,44 \text{ m. de agua.}$
- b) Determinación de la máxima presión que se producirá al final de la tubería, si el tiempo de cierre es 2 seg

(tiempo de cierre característico de reguladores para turbinas).

En el caso a) se tendrá:  $H + \Delta H = 162,24$  m. y por consiguiente:

$$\text{Según (5.22)} : \xi_m^2 = \frac{162,24}{124,8} = 1,3 \quad y$$

$$\text{Según (5.20)} : \rho = \frac{988,6 \cdot 2,0}{2 \cdot 9,81 \cdot 124,8} \\ = 0,8$$

Con:  $\xi_m^2 = 1,3$  y  $\rho = 0,8$  en el diagrama de Allievi, el tiempo relativo de cierre será:  $\theta = 3,8$ ; y por lo tanto el tiempo de cierre necesario será:

$$\text{Según (5.19)}: T_p = 0,485 \cdot 3,8 = 1,8 \text{ seg.}$$

En el caso b) el tiempo de cierre es 2 seg. y hay que determinar la sobrepresión máxima en la tubería. Para ello se procederá en sentido inverso, comenzando por hallar:

$$\text{Según (5.19)}: \theta = \frac{2}{0,485} = 4,12$$

Por otra parte:  $\rho = 0,8$

Conocidos  $\theta$  y  $\rho$ , se busca en el diagrama de Allievi fig.5.6, el punto de intersección que corresponde a:

$$\xi_m^2 = 1,28 = \frac{H + \Delta H}{H}$$

Obteniéndose:  $\Delta H = 34,94$  m.

Como se verá, el golpe de ariete es tanto mayor cuanto más rápido es el cierre

del distribuidor, y por ello es necesario conocer el valor de la sobrepresión en función del tiempo de cierre, para calcular con arreglo a aquélla la garantía de regulación que se le exigirá al fabricante. Los reguladores de las turbinas para el rango de potencias al del proyecto cierran entre 2 a 6 segundos.

### 3.- Golpe de ariete por apertura del distribuidor:

En caso de apertura del distribuidor la conducción sufrirá un golpe de ariete negativo. También Allievi preparo un ábaco, fig. 5.7, que permite determinar la máxima depresión que se produce en este caso.

En este caso la depresión que se obtendrá cuando se abra el distribuidor de la turbina en un tiempo de 2 seg. para un caudal de 0,8 del de plena carga, es decir  $0,44 \text{ m}^3/\text{seg.}$  será:

La velocidad del agua a plena carga es de 2,0 m/seg; luego, para 0,8 del caudal máximo, la velocidad correspondiente será:  $0,8 \cdot 2,0 = 1,6 \text{ m/seg.}$ , y por otra parte se tiene que:

$$\text{Según (5.19): } \theta = \frac{2}{0,485} = 4,12$$

$$\begin{aligned} \text{Según (5.20): } \zeta &= \frac{988,6 \cdot 1,6}{2 \cdot 9,81 \cdot 124,8} \\ &= 0,648 \end{aligned}$$

Conocidos  $\theta$  y  $\zeta$ , se busca en el diagrama de Allievi fig. 5.7, el punto de in

tersección que corresponde a:

$$\xi^2 = 0,75 = \frac{H + \Delta H}{H}$$

Obteniendose:  $\Delta H = - 31,2 \text{ m.}$

Valor muy aceptable, dado que la presión interna que soporta la tubería es mucho mayor, alejando por tanto la posibilidad que ocurra algún aplastamiento o similares problemas que acarrea la apertura del distribuidor por aumento de la carga en la turbina.

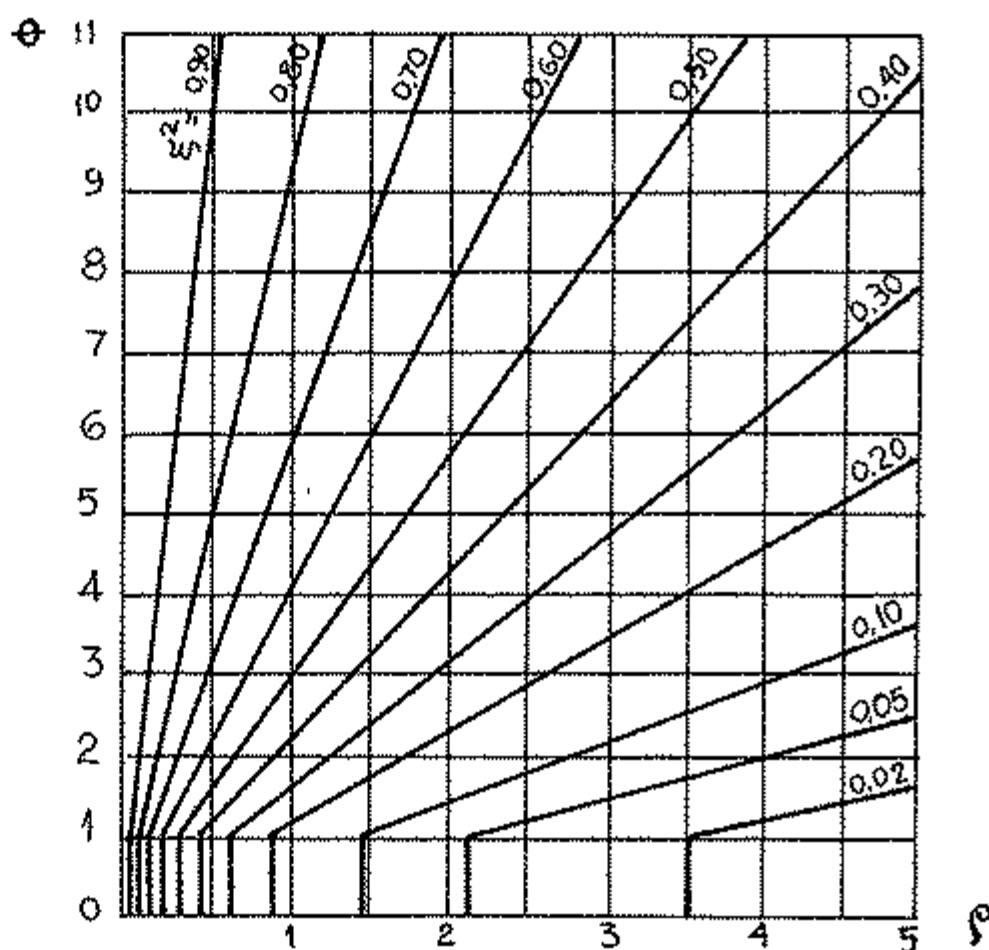


Fig. 5.7 - Abaco de Allievi para obtener la máxima depresión al abrir el distribuidor de la turbina.

### 5.1.6 Casa de Maquinas:

Las dimensiones de la Casa de Máquinas será del tamaño mínimo práctico, con espacio suficiente a fin de poder ubicar e instalar el equipo de la central, asimismo se buscará cier

ta cantidad de espacio libre para fines de mantenimiento de las máquinas.

El área necesaria para las necesidades del equipo electromecánico como son: la turbina, el regulador de velocidad, válvula principal y tableros será de  $85 \text{ m}^2$ , con un largo de 11,3 m. y un ancho de 7,50 m.

La casa de fuerza asimismo debe de disponer espacio para: oficina, taller, depósito, y dormitorio. El área necesaria para estas necesidades es de  $54,7 \text{ m}^2$ , con un largo de 7,3 m. y un ancho de 7,5 m.

Se ha considerado las condiciones de iluminación y ventilación establecidos para este tipo de diseños. En los planos No L.06/86 y L.07/86 se muestra la disposición de equipos y levantamientos correspondientes.

#### 5.1.7 Canal de Descarga:

Es el canal por el que se descarga las aguas turbinadas desde la casa de fuerza hasta el río. Para su dimensionamiento se siguió las mismas consideraciones hechas para los canales de conducción:

##### Canal de Concreto.

|                           |                                   |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Caudal.                   | : $0,275 \text{ m}^3/\text{seg.}$ |
| Pendiente del canal.      | : 1/500                           |
| Rugosidad "n" de Manning. | : 0,025                           |
| Tirante en el canal.      | : 0,46 m.                         |
| Ancho del canal.          | : 0,60 m.                         |
| Radio hidráulico.         | : 0,18 m.                         |
| Velocidad del agua .      | : 0,60 m/seg.                     |
| Perfil del canal.         | : Rectangular.                    |

## 5.2 EQUIPO HIDROELECTRICO:

Las obras electromecánicas comprenden la selección diseño e instalación de los diferentes equipos necesarios que conforma la central como son: La turbina, El generador, El transformador principal y los equipos de medición, protección y seccionamiento.

### 5.2.1 Turbina:

Es la encargada de transformar la energía hidráulica del agua en energía mecánica.

En general las condiciones que en la actualidad deben tener las turbinas son las siguientes:

- Deben permitir el aprovechamiento de cualquier salto y caudales disponibles.
- El aprovechamiento ha de efectuarse con rendimiento elevado, aunque sean variables las condiciones del salto(nivel y caudal) para que la instalación sea rentable en todos los casos.
- El eje podrá disponerse horizontal o verticalmente según lo exija el acoplamiento directo a las transmisiones o a los alternadores.
- La velocidad angular debe ser lo más alta posible para conseguir de este modo transmisiones mucho más ligeras.
- Deben poderse regular bien, a fin de que sean tan adecuados, para lograr un servicio mas confiable.

Las turbinas actuales , como las Francis, las de hélice y las ruedas tangenciales( Pelton y Michell-Banki), cumplen todas estas condicio-

nes perfectamente.

#### 5.2.1.1 Selección del tipo de turbina:

Se elije el tipo de turbina en función de la caída (salto neto) y el caudal requerido, para esto haremos uso de la recomendación señalada en el Apéndice No 5.2 (tabla-20).

Tenemos:             $H = 124,8 \text{ m.}$   
                          $Q = 0,275 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Entonces la turbina elejida será:

"FRANCIZ - Eje horizontal - 1 rueda  
- 1 descarga - Lento".

Cabe notar que muy bien tambien pudo elejirse la turbina "Pelton - Eje horizontal - 1 rueda - 2 inyectorres". Los motivos que decidieron para la primera fueron:

- La turbina Francis requiere de menos espacio y operan con velocidades de rotación mayores, bajo las mismas condiciones.
- Hidráulicamente, la Francis es más ventajosa, porque puede utilizar la carga aguas abajo, en el tubo de desfogue; en tanto que la Pelton tienen que ubicarse algunos metros arriba del nivel de aguas.
- Las turbinas Francis tienen eficiencias más altas, a condición de que operen en las condiciones de diseño. Por otra parte las Pelton

Poseen eficiencias altas, aún cuando la carga es menor que la máxima.

- El costo de turbinas Pelton con 2 inyectores es mucho más alto que la Francis de 1 descarga.

### 5.2.1.2 Cálculo de la Potencia Turbinada:

La potencia turbinada se calcula mediante:

$$P_T = 9,81 \cdot \eta_t \cdot Q \cdot H \quad (5.23)$$

Donde:

Q = Caudal de diseño,  $0,275 \text{ m}^3/\text{seg}$

H = Caída neta, 124,8 m.

En la fig. 5.8 , se muestra las curvas típicas del rendimiento de las turbinas Francis, las mismas que estan en función de las cargas, así mismo notamos que las turbinas Lentas son las que mejor mantienen sus rendimientos a cargas parciales.

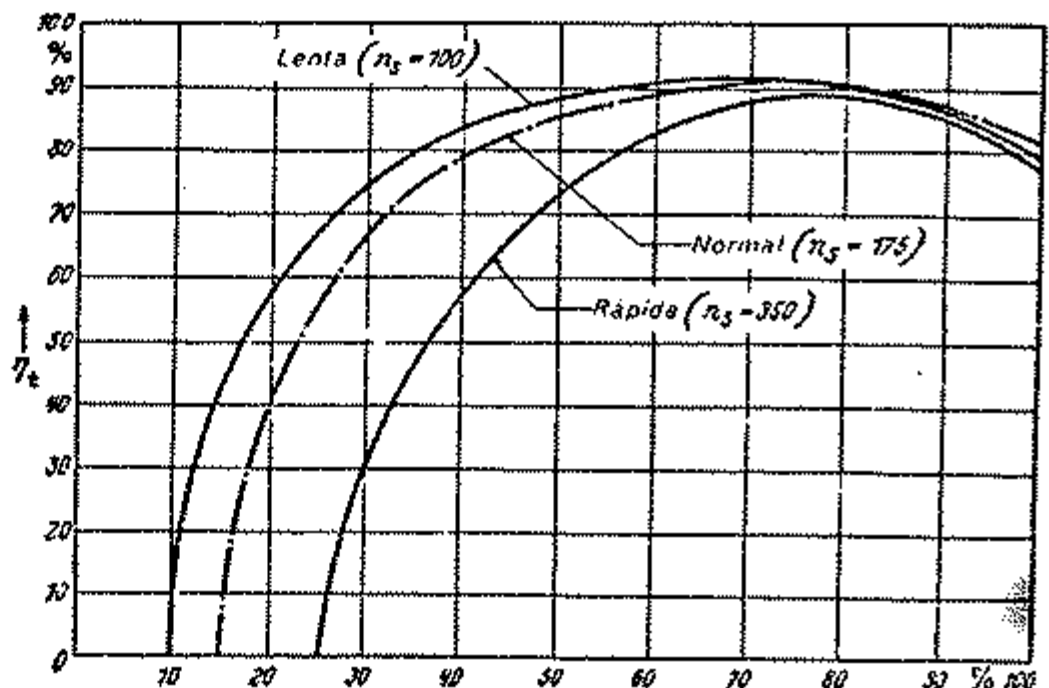


Fig. 5.8 - Curvas de rendimiento de los rodetes Francis



Tomamos para nuestro proyecto un rendimiento a plena carga :

$$\eta_t = 0,81 \text{ ó } 81\%$$

Entonces efectuando cálculos en la expresión (5.23), obtenemos:

$$P_T = 274 \text{ kW} \quad \text{ó} \quad 373 \text{ CV}$$

### 5.2.1.3 Velocidad Especifica:

Este número denominada velocidad específica tiene el mismo valor numérico para una serie de máquinas geométricamente semejantes. Las mismas que servirán para diseñar las características de operación en el punto de máxima eficiencia.

La expresión para la velocidad específica viene dada en la forma:

$$n_s = N \cdot \frac{P^{1/2}}{H^{5/4}} \quad (5.24)$$

Donde:

N : Velocidad de rotación de la turbina, RPM

P : Potencia transmitida, CV

H : Caída neta, m.

De acuerdo a la experiencia de los fabricantes de turbinas, la velocidad específica alcanza valores extremos para cada salto aprovechable, en razón a que existe la posibilidad que ocurra cavitaciones, que ocasionarían graves daños a la turbina.

En el cuadro No 5.1 ,se muestran los valores permisibles de las velocidades especificas en función del salto y de la altura de succión, para las turbinas Francis, los mismos que corresponde a las recomendaciones de La casa fabricante "J.M. Voith".

CUADRO 5.1

| Turbinas Francis              |  |  |
|-------------------------------|--|--|
| H<br>(caída<br>neta)<br>- m - | $h_s$<br>(altura de<br>succión)<br>- m - | $n_{s,máx}$<br>(velocidad<br>esp. máx.)<br>- rpm - |
| 300                           | 4,5                                      | 75   |
|                               | 3,0                                      | 85   |
|                               | 1,5                                      | 95   |
| 200                           | 4,5                                      | 90   |
|                               | 3,0                                      | 105  |
|                               | 1,5                                      | 120  |
| 150                           | 4,5                                      | 105  |
|                               | 3,0                                      | 120  |
|                               | 1,5                                      | 135  |
| 100                           | 4,5                                      | 130  |
|                               | 3,0                                      | 150  |
|                               | 1,5                                      | 165  |
| 50                            | 4,5                                      | 185  |
|                               | 3,0                                      | 210  |
|                               | 1,5                                      | 235  |

De acuerdo al cuadro, para una altura de succión igual a 1,5 m. y una caída neta de 124,8 m. la velocidad especifica máxima será: 150 rpm

Efectuando calculos en la formula (5.24), la velocidad de rotación que le corresponde a esta velocidad específica será:  $N = 3239$  RPM

Pero esta velocidad debe de ser compatible con la operación del generador para el tipo de frecuencia asignada, los mismos que dependen del número de pares de polos del generador en el cuadro No 5.2 se muestran estas velocidades, en función del número de pares de polos, válidos para generadores del tipo sincrónico.

CUADRO No 5.2

| Polos | Pares de polos | Velocidad sincrónica a 60 Hz. (rpm) |
|-------|----------------|-------------------------------------|
| 2     | 1              | 3 600                               |
| 4     | 2              | 1 800                               |
| 6     | 3              | 1 200                               |
| 8     | 4              | 900                                 |
| 10    | 5              | 720                                 |
| 12    | 6              | 600                                 |
| 14    | 7              | 514,285                             |
| 16    | 8              | 450                                 |
| 18    | 9              | 400                                 |
| 20    | 10             | 360                                 |

Teniendo en cuenta que los generadores cuestan mucho menos, cuando menor es el número de polos y permiten la transmisión directa turbina-generador, la velocidad de rotación entonces la elejida para nuestra turbina será:

$$N = 1800 \text{ RPM}$$

Finalmente con la velocidad elejida (de rotación), calculamos la velocidad especifica real de la turbina, Valiendonos de la expresión 5.24 obtenemos:

$$n_s = 83,3 \text{ rpm}$$

#### 5.2.1.4 Dimensiones Básicas de la Turbina:

El cálculo de estas dimensiones son importantes pues nos permite conocer las características constructivas de la maquina y estimar los costos correspondientes.

Antes de proceder al dimensionamiento, verifiquemos que la velocidad especifica calculada este por debajo de la velocidad especifica máxima permisible según sean los esfuerzos en los materiales, es decir:

$$n'_s, \text{ máx} = \frac{6850}{H + 10} + 84$$

Obtenemos: 135 rpm , valor que esta por encima de 83,3 rpm, entonces por resistencia de materiales no habra inconvenientes.

En la figura No 5.9 se muestran los datos representativos para el cálculo de dimensiones, los mismos que corresponden a las recomendaciones de la casa fabricante "J.M. Voith".

#### Diámetro del rodete ( $D_1$ ):

Del grafico según fig. 5.9, el valor de  $U_1/\sqrt{H}$  es 2,9

Entonces la velocidad tangencial del rodete " $U_1$ " será: 32,4 m/seg.

El diámetro del rodete se calcula entonces por:

$$D_1 = \frac{60 \cdot U_1}{N \cdot \pi}$$

Obteniendose:  $D_1 = 0,34$  m.

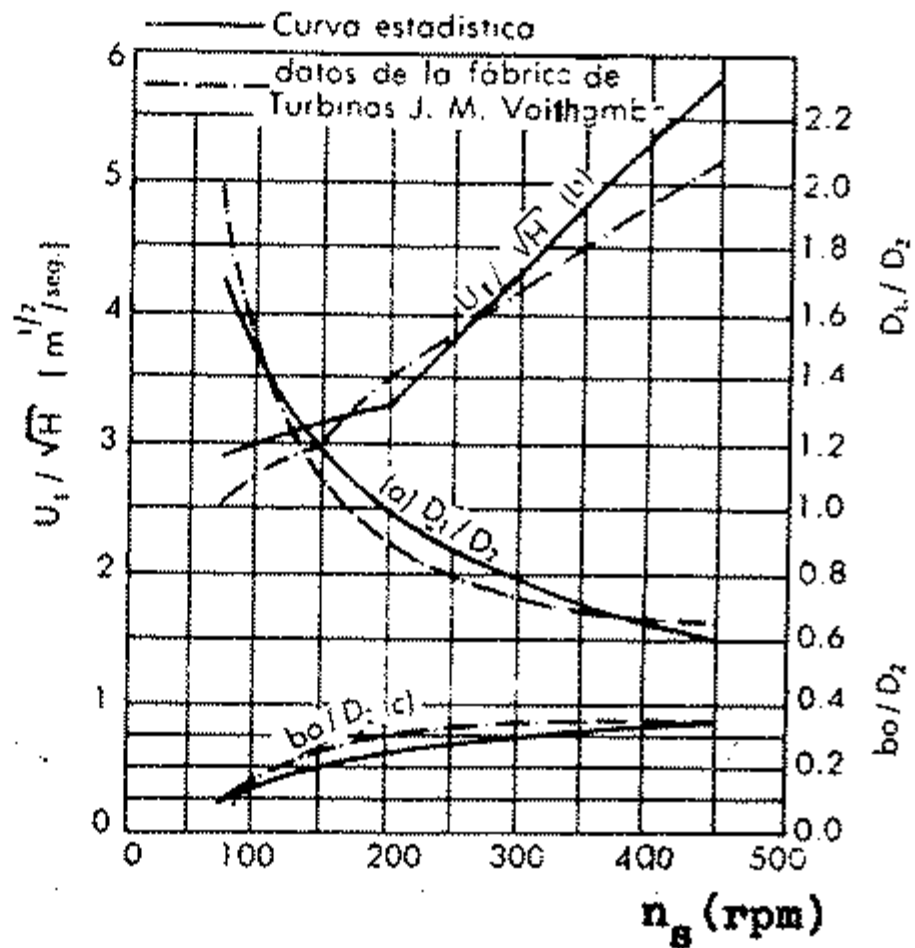


Fig. 5.9 - Dimensiones de turbinas Francis.

Diámetro de Descarga ( $D_2$ ):

Según gráfico de la fig. 5.9, el valor de  $D_1/D_2$  es 1,55. Entonces el diámetro de descarga (entrada del tubo de aspiración), será:

$$D_2 = 0,22 \text{ m.}$$

Altura de succión del Difusor:

A fin de evitar el fenómeno de cavitación, que es perjudicial para el buen funcionamiento de la turbina y por

permitir el desgaste prematuro de los alabes del rodete. La altura de succión " $h_s$ " tiene valores límites. El parámetro de cavitación llamado " $\sigma$ " (coeficiente de cavitación) establece el límite para la posición de las turbinas respecto al nivel de aguas abajo. Al respecto la fórmula de Thoma define:

$$h_s \leq B - \sigma \cdot H \quad (5.25)$$

Donde:

H = Altura de caída neta, 124,8 m.

B = Presión barométrica del aire en metros de columna de agua, para nuestro proyecto a 3500 msnm y a 15 °C, esta presión es: 6,32 metros de agua.

$\sigma$  = Coeficiente de cavitación, este valor se ha determinado experimentalmente y se ha encontrado que varía en función de la velocidad específica " $n_s$ ", en la figura 5.10 se muestra algunos resultados encontrados por el profesor Thoma. Con  $n_s = 83,3$ , del gráfico para nuestro proyecto este coeficiente es:  $\sigma = 0,035$

Reemplazando valores en la fórmula 5.25, la altura de succión máxima será:

$$h_s \leq 1,952$$

Entonces para evitar las cavitaciones se instalara a: 1,50 m. sobre el nivel de agua en el canal de desfogue.

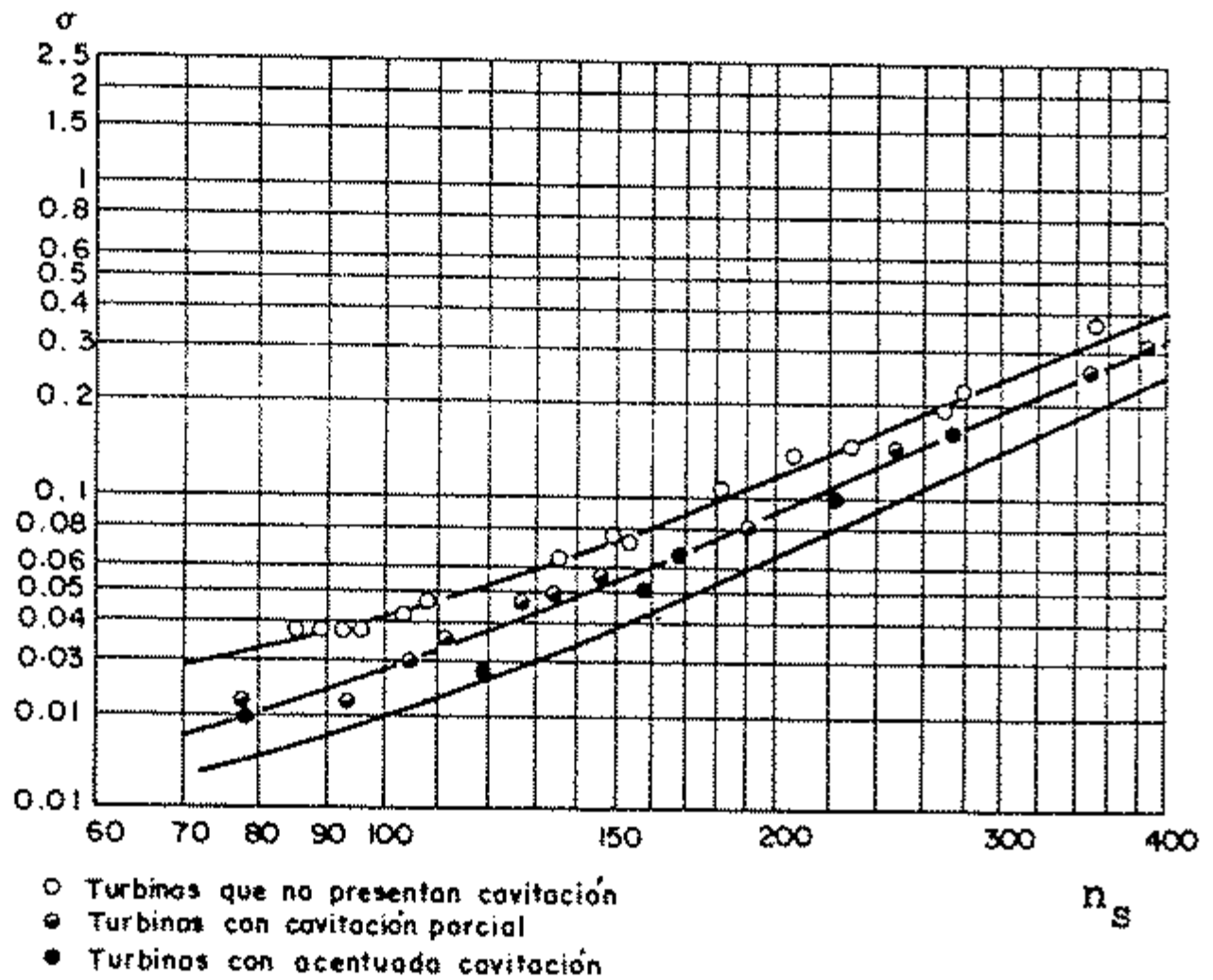


Fig. 5.10 - Coeficiente de cavitación.

Diámetro de salida del difusor ( $D_3$ ):

Las dimensiones características del difusor y el de sus parametros de cálculo se muestran en la fig. 5.11

Suponiendo que la velocidad de salida del agua del tubo sea cuando mucho:

$$v_3 = 1,8 \text{ m/seg}$$

Entonces la sección de salida será:  
 $A_3 = Q / v_3 = 0,152 \text{ m}^2$ . Entonces el diámetro de salida del difusor será:

$$D_3 = 0,44 \text{ m.}$$

En el plano No L.06/86 se muestra la disposición y ubicación de la turbina en la casa de fuerza.

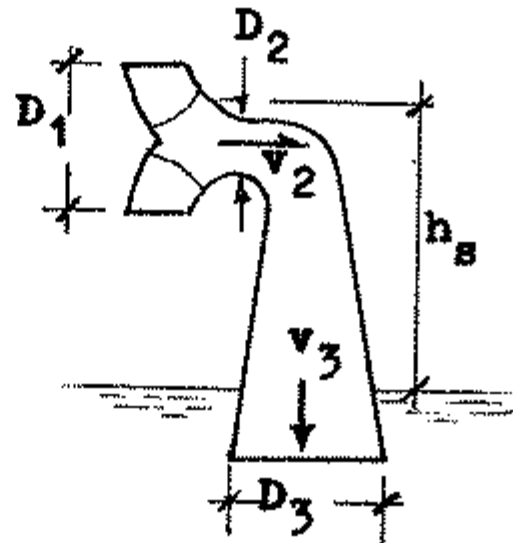


Fig. 5.11 = Dimensiones características del difusor

Verificación de las dimensiones del difusor por el fenómeno de depresión

A este fenómeno se le conoce como "contragolpe de ariete" y ocurre cuando, a consecuencia del cierre del distribuidor de la turbina, varía el movimiento del líquido y puede llegar a producirse la rotura de la columna de agua en el tubo difusor.

Para evitar el fenómeno de contragolpe de ariete, el tiempo de cierre  $T_r$  completo del distribuidor deberá ser mayor que el crítico, es decir:

$$T_r \geq \frac{\epsilon \cdot L \cdot V_m}{g \cdot (B - h_s)} \quad (5.26)$$

Donde:

L : Longitud del tubo difusor, en nuestro caso tomamos: 2,0 m.

g : Aceleración de la gravedad; 9,81

B : Presión barométrica; 6,32 m.

$h_s$  : Altura de succión; 1,5 m.



$V_m$  : Velocidad promedio en el difusor, la velocidad a la entrada del difusor es:  $v_2 = 4 \cdot Q / D_2^2 = 7,23$  m/seg y a la salida es: 1,8 m/seg, entonces la velocidad promedio será: 4,36 m/seg.

Efectuando cálculos, con los valores asignados, obtenemos:

$$T_r \geq \frac{1,2 \cdot 2,0 \cdot 4,36}{9,81 \cdot (6,32 - 1,5)}$$

$$\delta \quad T_r \geq 0,22 \text{ seg.}$$

Se hace notar que " $\epsilon$ " es un coeficiente que depende de la longitud del difusor varía entre (1,0 - 1,7), para tubos de poca longitud será: 1,2

Finalmente deducimos que para las características de nuestra instalación no hay peligro del contragolpe de ariete, pues los tiempos de cierre de las turbinas normalmente están por encima de los 2 seg.

#### Característica de la instalación:

A continuación veremos la posibilidad del empleo del regulador síncrono accesorio útil para evitar las sobrepresiones del golpe de ariete, es una válvula de descarga que va unida al inductor de la turbina, y opera simultáneamente con el distribuidor de la turbina, desviando parte de las aguas directamente al canal de descarga.

Los factores que determinan la necesidad o no del empleo de estos reguladores, es esencialmente la relación "L/H" entre la longitud de la tubería de presión y el salto; parámetros que son proporcionales respectivamente a la energía cinética de la masa de agua en movimiento, a la energía potencial del salto, y al tiempo de cierre del distribuidor de la turbina.

El parámetro de calculo de la característica de la instalación viene dada por:

$$C = \frac{L \cdot V_0}{H \cdot g \cdot T_r} \quad (5.27)$$

Donde:

L = Longitud de la tubería de presión; 240 m.

V<sub>0</sub> = Velocidad del agua en la tubería: 2,0 m/seg.

H = Altura neta; 124,8 m.

T<sub>r</sub> = Tiempo de cierre del regulador, en turbinas normales es: 3 seg.

Efectuando calculos obtenemos:

$$C = 0,13$$

El ingeniero Novelli ha propuesto una clasificación, para las instalaciones, a fin de no superar el valor de la sobrepresión y de las variaciones de velocidad, a continuación describimos esta clasificación:

Para  $C \leq 0,10$  la instalación no requiere ningun dispositivo regulador de presión ni aumento del momento de las masas giratorias ( $G D^2$ ).

Para  $C$  comprendido entre  $0,10$  y  $0,20$  no es necesario el empleo del regulador de presión, siempre que el momento de las masas giratorias ( $G D^2$ ), sea aumentada en un 20% sobre el valor natural.

Para  $C > 0,20$  son necesarios los limitadores o reguladores de presión de una u otra clase o ambas a la vez según sea el tipo de instalación.

En nuestro caso vemos que nos encontramos en el segundo caso, es decir no es necesario el uso del regulador de presión, mas bien se aumentara el momento de las masas giratorias, En el próximo acápite se estimara este valor.

### 5.2.2 Regulador de velocidad:

El objeto de los reguladores de velocidad es el de mantener constante o cuando menos una misma velocidad de rotación, ante la presencia de variaciones de carga que experimenta el generador, abriendo o cerrando el distribuidor principal de la turbina.

El tipo de reguladores mas difundidos para aplicación en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas es el Oleo-mecánico y el Electro-electronico, ambas se diferencian por el elemento

sensor, en los primeros un mecanismo llamado "Pendulo" detecta las variaciones de velocidad que experimenta la turbina y en los segundos el sensor eléctrico detecta las variaciones de frecuencia que experimenta el generador.

Para nuestro proyecto elejimos el oleo-mecánico, por su: confiabilidad, durabilidad, disponibilidad y operación segura, asimismo es el que mejores resultados viene dando en la aplicación de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

A los reguladores de velocidad se les identifica por su "estatismo", que viene a ser el grado del cambio de velocidad que experimenta la turbina desde su funcionamiento en vacío hasta el de plena carga. Este valor esta en el orden del 2 al 5% normalmente.

#### Determinación de la Garantía de Regulación:

La excesiva disminución del tiempo de regulación lleva consigo un aumento en la magnitud del golpe de ariete, afectando a la tubería de presión y a la turbina.

Para ello en la práctica siempre se toma un tiempo de regulación tal que permita a la presión oscilar dentro de los límites permitidos.

El efecto que causa el aumento o disminución del tiempo de regulación, tambien se presenta al aumentar o disminuir el Momento de Inercia de las masas giratorias ( $GD^2$ ).

El Momento de Inercia mínimo que se le exigirá a la máquina se calcula mediante:

$$GD^2 = \frac{183600 \text{ g} \cdot P \cdot T_r}{\pi^2 \cdot \epsilon \cdot N^2} \quad (5.28)$$

Donde:

$GD^2$  = Momento de inercia, en  $\text{kg-m}^2$

P = Potencia del grupo: 274 kW

$T_r$  = Tiempo de cierre del distribuidor, normalmente entre 3 y 5 seg.: 3 seg.

N = Velocidad de giro de la turbina: 1800 RPM

g = Aceleración de la gravedad:  $9,81 \text{ m/seg}^2$

$\epsilon$  = Coeficiente de velocidad relativa, normalmente entre 25 - 35 % : 30%

Efectuando cálculas en la expresión 5.28 ,obtenemos:

$$GD^2 = 154,3 \text{ kg-m}^2$$

Este valor deberá ser aumentada por la característica de la instalación en un 20%, entonces al fabricante o proveedor se le exigirá que la máquina tenga como mínimo un momento de inercia, igual a:  $185 \text{ kg-m}^2$  .

### 5.2.3 Generador:

#### 5.2.3.1 Selección del Generador:

El Generador es la máquina eléctrica utilizada para transformar la energía mecánica entregada por la turbina en eléctrica.

Existen dos tipos fundamentales de generadores que se vienen utilizando en la instalación de Pequeñas Centra

les Hidroeléctricas, y que son: Los generadores Sincronos y los Asincronos.

a) Generador Sincrono.- Se denomina así a la máquina eléctrica cuya velocidad de rotación del rotor(N), se encuentra en una relación fija con la frecuencia del campo magnético. es decir cumple la siguiente relación:

$$N = \frac{60 f}{p}$$

Donde:

f = Frecuencia de la red, en Hertz

N = Velocidad de rotación, en RPM

p = Número de pares de polos del generador.

La máquina es excitada por un campo magnético continuo, generado por otra máquina especial de corriente continua que se denomina excitatriz, y que comunmente viene instalada en el mismo eje del generador principal.

b) Generador Asíncrono.- En este caso la velocidad de rotación del rotor es indiferente a la frecuencia del campo magnético, es decir:

$N \neq 60 f / p$ , mas bien esta velocidad está ligada a la carga, entonces hay un ligero desfase entre la velocidad del rotor y la velocidad del campo magnético giratorio.

Hoy por hoy se vienen realizando en-

sayos con estas máquinas para uso en centrales hidreléctricas, de los resultados obtenidos afirmamos que su aplicación está orientada hacia las Microcentrales, es decir hasta los 50 kW., su capacidad se ve limitada por los costos del banco de condensadores quienes actúan como excitador.

Para el caso del presente proyecto, se ha considerado el uso de Generadores "sin escobillas". Este tipo de generadores está constituido de un estator convencional y un campo de polos salientes rotativos. El sistema incorpora en un eje común una armadura de excitatriz de corriente alterna y un rectificador rotativo de onda completa a base de diodos de silicio. El generador es del tipo autoexcitado con regulador de tensión automático.

#### 5.2.3.2 Excitación del Generador:

El sistema de excitación tiene como función específica de suministrar la energía necesaria para excitar al generador.

El fin que debe tener el sistema de excitación puede descomponerse en dos partes: la primera mantener la intensidad de la corriente rotórica en el valor necesario durante la perturbación o el cambio de carga, y la segunda el reestablecimiento tan rápido como sea posible del valor precripto en los bornes del generador

desde que se produce la variación de ésta.

El tipo de nuestro generador síncrono no tiene escobillas y está dotado de excitatriz de corriente alterna instalada en el eje del generador principal, los mismos que entregan corriente directa mediante la rectificación por un conjunto de rectificadores rotativos que se encuentran montados en el disco disipador de calor.

El excitador de corriente alterna requiere corriente directa para su excitación. Esta excitación es suministrada mediante la rectificación de una porción de la potencia de salida del generador principal por un regulador de voltaje estático.

En la fig. 5.12 el esquema de funcionamiento del generador.

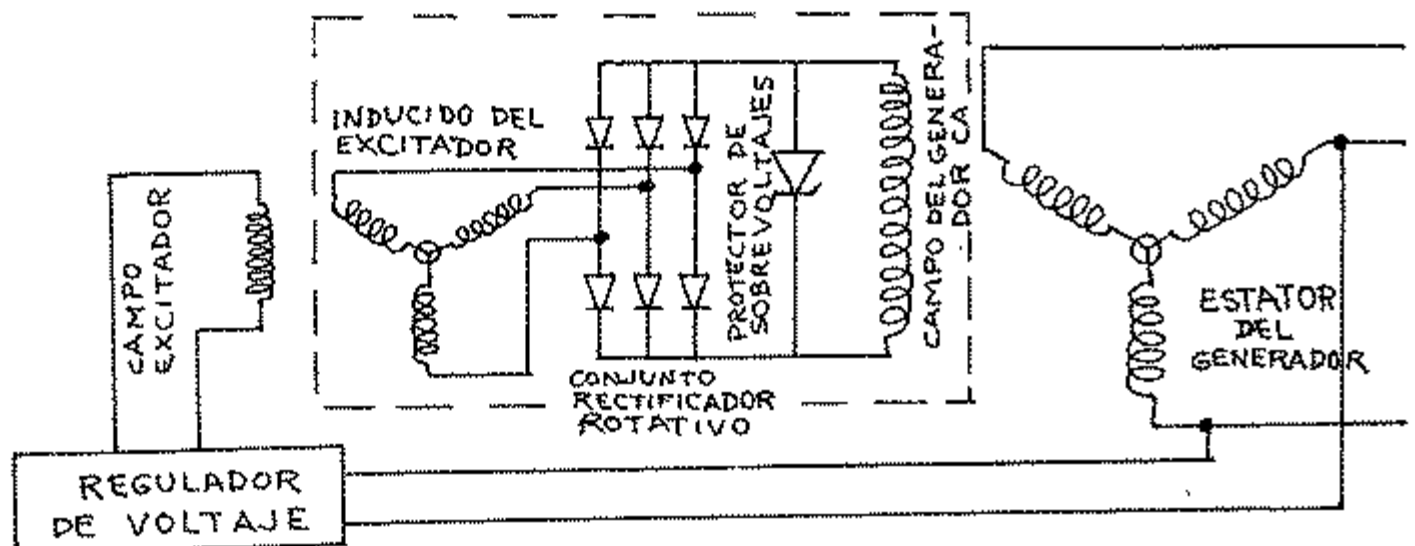


Fig. 5.12 - Esquema de funcionamiento del generador.

### 5.2.3.3 Regulador de Tensión:

Todo generador deberá suministrar energía eléctrica a una tensión desee



ada o muy cerca de ella, asimismo como en el sistema eléctrico existen continuas variaciones de carga, requieren pues una regulación continua de la excitación.

Cuando la carga es estable o las variaciones de ésta son muy lentas se puede utilizar la regulación manual, pero cuando la variación de carga es continua hace necesario el uso del regulador automático, el cual acomoda la excitación del modo mas rápido posible a las nuevas circunstancias de dicha carga.

En el regulador a emplearse en nuestro generador el interruptor es sustituido por un transistor de potencia que trabaja en régimen de conexión y desconexión, los intervalos son determinados por la desviación de la magnitud regulada. En este tipo de regulador la tensión necesaria para la alimentación se toma de los bornes de salida de la máquina atrave de un transformador de adaptación.

Otro devanado del transformador suministra la tensión real, que es proporcional a la tensión de la máquina. La tensión teórica es dada en el proprio regulador por un diodo zener, la diferencia entre el valor real y el ideal o teórica de la tensión, se aplica a un amplificador operacional, con cuyos elementos de realimentaci- se puede ajustar un comportamiento estático (estabilidad y precisión) y

dinámico. Entonces el arranque y la desexcitación del alternador se efectúa bajo la dependencia del reglaje automático de la tensión.

#### 5.2.3.4 Potencia Generada:

El tipo de generadores propuesto para el presente proyecto, en el Perú viene ofertando la firma ALGESA, cuyos resultados técnicos alcanzados son bastante alagadores. En el Apéndice No 5.3 se muestra las distintas potencias de salida de estos generadores, así como sus factores de corrección por temperatura ambiente y altura correspondientes.

Escogiendo al generador modelo A490a vemos que su eficiencia(E%) es: 91,7 y su factor de corrección por altura (FCA) es: 1,1475 a 3300 msnm.

La potencia generada por el alternador se determina por:

$$P_g = P_T \cdot E\%$$

Donde:

$P_T$  = Potencia turbinada: 274 kW

E% = Eficiencia del generador: 91.7

Luego la potencia generada por el alternador será:

$$P_g = 251,3 \text{ kW}$$

También la potencia instalada de la central será: 502,6 kW

La potencia de placa del alternador escogido será:

$$P_{pl} = P_g \cdot FCA$$

Donde:

$P_g$  = Potencia generada: 251,3 kW

FCA = Factor de corrección por altura  
: 1,1475

Luego esta potencia será: 288,4 kW,  
valor que nos permite elegir al alter-  
nador cuya potencia es: 300 kW

Finalmente las características del ge-  
nerador o alternador escogido es:

|                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| Modelo                      | : A490a           |
| Conexión                    | : Serie-<br>delta |
| Tensión                     | : 230 V           |
| Potencia Activa             | : 300 kW          |
| Potencia Aparente           | : 375 kVA         |
| Frecuencia                  | : 60 Hz           |
| Velocidad                   | : 1800 RPM        |
| Factor de potencia          | : 0,8             |
| Tensión de cortocircuito    | : 11 %            |
| Eficiencia                  | : 91,7 %          |
| Factor de correc. por alt.: | 1,1475            |
| Potencia máxima en sitio    | : 261,4 kW        |

#### 5.2.3.5 Operación en Paralelo:

El funcionamiento en paralelo signi-  
fica que los generadores entregan poten-  
cia al sistema externo sin entregarse

potencia el uno al otro, o aceptar potencia de la barra colectora de la carga. El generador deberá contar con equipo adicional para asegurar una o peración exitosa y sin peligros.

Las siguientes normas se deberán cum plir antes que las unidades puedan conectarse en paralelo:

- 1.- El voltaje y la frecuencia deben ser los mismos para ambas unidades con voltajes en la fase.
- 2.- Las características individuales de regulación de voltaje de los generadores deben ser similares.
- 3.- Los generadores deben tener la misma rotación de la fase.
- 4.- Las turbinas hidráulicas deben tener las mismas características de regulación de velocidad y los gobernadores deben estar ajustados para entregar la misma regulación de velocidad.

Antes de hacer funcionar a las unida des en paralelo, cada uno debe com- probarse haciendo arrancar, funciona y ajustar como una unidad individual antes de tratar de conectarlos en pa ralelo.

#### 5.2.4 Sub-estación Elevadora:

Para la elaboración de proyectos de Electrifi cación Rural, como es el caso nuestro se debe

rá tener en cuenta que su concepción técnica es muy distinto al tipo urbano, de ahí que por RD. No 024-A-85, el Director General de Electricidad acuerda aprobar la Directiva No 001-85/DGE, cuya aplicabilidad está permitiendo:

- Reducir los costos de operación, mediante la no utilización y/o reemplazo paulatino de grupos térmicos y minicentrales hidroeléctricas, permite alimentar cargas reducidas en un radio de 30 a 50 km, económicamente.
- Reducir los plazos de implementación de los estudios y obras.
- Incentivar la utilización de la energía proveniente de recursos naturales renovables (Sistema Interconectado, Centrales Hidroeléctricas Medianas, etc.)

La Directiva acuerda aprobar entre otros lo siguiente:

- Utilización de las tensiones 13,2/7,62 y 22,9/13,2 kV, en reemplazo de 20 kV, con múltiple y efectivamente puesto a tierra.
- Empleo del Sistema Monofásico con Retorno total por Tierra, que es compatible con las tensiones arriba señalados.
- Utilización del conductor desnudo en redes de distribución secundaria (como neutro).
- La exigencia para el diseño de redes de distribución secundaria las tensiones 380/220 y 440/220 V.
- Utilización del conductor de cobre sección nominal 10 mm<sup>2</sup>(8 AWG), en líneas y redes

primarias de retorno por tierra, previa verificación de los esfuerzos mecánicos y las accionadas por vibración eólica y de la conveniencia económica.

En lo que respecta a la elección del nivel de tensión para las líneas primarias de nuestro proyecto, se tomará en cuenta las disposiciones anotadas líneas arriba. Elejimos la tensión 22,9 - 13,2 kV, posee un aislamiento reducido por llevar el neutro efectivamente puesto a tierra y nos permite efectuar instalaciones hasta los 4000 msnm. sin pasar del Nivel Básico de Aislamiento (NAB) de 150 kV. Asimismo a este nivel de tensión se está normalizando to dos los Pequeños Sistemas Eléctricos para el departamento de Puno.

#### 5.2.4.1 Número de Transformadores:

Habiendose definido la implementación de dos grupos turbina-generador, se presenta dos alternativas para la elección del número de transformadores. Las dos alternativas se muestran en la fig. No 5.13

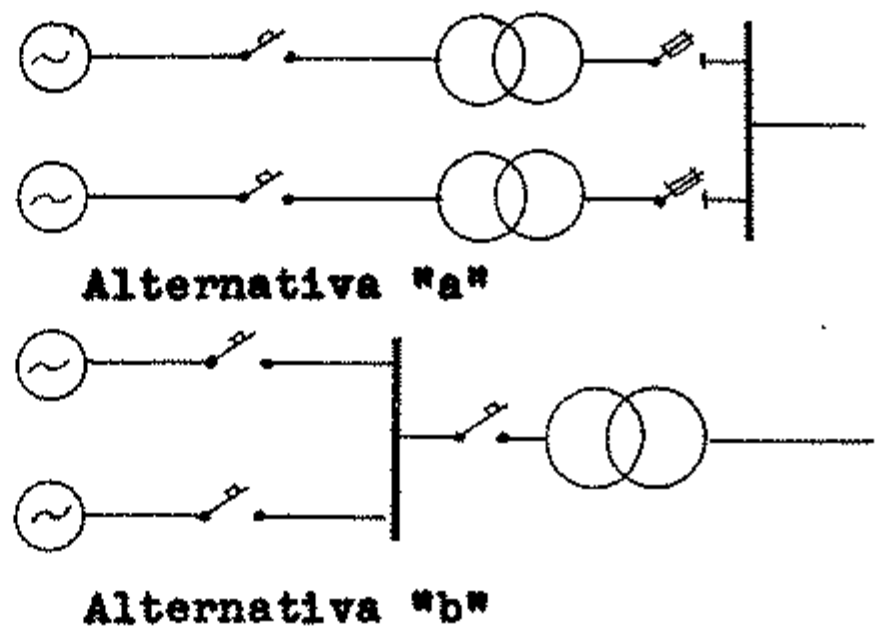


Fig. 5.13 - Elección del número de transformadores

La alternativa "a".- Técnicamente es la alternativa favorable, pues permite el funcionamiento independiente de cada unidad transformadora y es propicio para la implementación por etapas

La alternativa "b".- Económicamente es la alternativa favorable, equipo de protección menor, espacio requerido menor, y la instalación será mas segura y confiable.

Nosotros nos inclinamos por la alternativa "b", y se justifica plenamente para la electrificación del tipo rural.

#### 5.2.4.2 Nivel de Potencia:

Tomaremos el que corresponde a los niveles de potencia para los transformadores de distribución, según el Código Nacional de Electricidad, se debe adoptar preferentemente por las potencias que se muestran en el cuadro No 5.3 .

CUADRO No 5.3

| POTENCIA NOMINAL DE TRANSFORMADORES<br>En kVA |           |
|---|-----------|
| Monofásico                                    | Trifásico |
| 15  | 50        |
| 25  | 75        |
| 37,5  | 100       |
| 50  | 160       |
| 75  | 250       |
| 100   | 315       |
|   | 400       |
|   | 500       |
|   | 630       |
|   | 800       |
|   | 1000      |

Para el proyecto se decidió por la potencia de: 500 kVA, en razón de que están permitidos las sobrecargas siempre que no se disminuya su vida útil. Como en la electrificación del tipo rural los tiempos de sobrecarga son cortos, se conseguirá por tanto una potencia para el transformador mayor.

La determinación de la sobrecarga admitida, requiere de análisis exhaustivos por parte del fabricante, puesto que las variaciones de la carga genera así mismo pérdidas variables en el cobre y consecuentemente efectos térmicos también variables, se impone la pregunta de definir cual puede o debe ser la relación existente entre la potencia nominal del transformador y el valor de las diferentes cargas que se producen en el ciclo de trabajo de las 24 horas. Intervienen en la solución de estos problemas varios factores como son la duración de la carga de punta la temperatura ambiente en donde opera el transformador y finalmente la temperatura nominal de los bobinados. La relación que existe entre estos distintos factores se muestra en el Cuadro No 5.4 (datos proporcionados por la firma BBICT), a modo de información.

Del cuadro vemos que nuestro transformador con una carga previo al pico del 70%, con una temperatura ambiente máxima de 20 °C, y para un tiem-



po de sobrecarga igual a 2 horas, la sobrecarga admitida es: 1,37 .

En consecuencia la potencia máxima que se le podrá sacar al transformador será:  $1,37 \times 500 \times 0,85 = 582$  kW. ( $\cos \phi = 0,85$ ), potencia que está por encima a la generada por la central, entonces la elección del transformador de 500 kVA es correcta.

CUADRO No 5.4

**SOBRECARGA DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION (HASTA 1600 kVA)**

| Tiempo de Sobrecarga en horas | Sobrecarga sin exceder temp. bob. |      |      |      |      |      |
|-------------------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|
|                               | Carga previa al pico : 70 %       |      |      |      |      |      |
|                               | Temperatura ambiente máx. °C      |      |      |      |      |      |
|                               | 0                                 | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   |
| 1/2                           | 2,00                              | 1,88 | 1,71 | 1,52 | 1,32 | 1,10 |
| 1                             | 1,82                              | 1,68 | 1,54 | 1,38 | 1,20 | 1,02 |
| 2                             | 1,60                              | 1,49 | 1,37 | 1,24 | 1,10 | 0,95 |
| 4                             | 1,45                              | 1,36 | 1,25 | 1,14 | 1,02 | 0,88 |
| 8                             | 1,40                              | 1,30 | 1,21 | 1,11 | 1,01 | 0,86 |
| 24                            | 1,38                              | 1,28 | 1,20 | 1,10 | 1,00 | 0,84 |

Finalmente se ha decidido por la subestación elevadora del tipo INTEMPERIE, donde el equipamiento de la subestación es predominantemente de tipo exterior y es instalada dentro de un cerco a nivel del piso y previsto de pasadizos con espacios de trabajo.

Las características principales del transformador de potencia seleccionado es:

Potencia nominal continua : 500 kVA  
 Frecuencia : 60 Hz

|                             |                                |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Altitud de servicio         | : 4000 m                       |
| Relación de transformación: | 22,9-13,2                      |
|                             | $\pm 2 \times 2,5\%$ / 0,23 kV |
| Fases                       | : 3 $\emptyset$                |
| Factor de potencia          | : 0,85                         |
| Tensión de cortocircuito    | : 4,5 %                        |
| Grupo de conexión           | : Dyn 5                        |
| Instalación                 | : Exterior                     |

En los planos No L.06/86 y L.07/86 se muestran las ubicaciones correspondientes en la central(casa de fuerza).

#### 5.2.5 Equipo Auxiliar y de Protección:

La central contará con un tablero de control por grupo a 230 V., y un tablero principal de distribución .

El tablero de los grupos contendrá: Instrumentos como: Voltmetro, Frecuencímetro, Vatímetro, cosfímetro, Amperímetro y contador de energía. Aparatos de maniobra: Sincronoscopio, conmutador de sincronización, conmutador de Cuadratura y Reostato calibrador manual de tensión. Equipo de Protección como: Interruptor principal del tipo termomagnético para protección térmica por sobrecarga y magnética por cortocircuito, con bobina de disparo para desconexión automática para potencia inversa. Así mismo el Regulador automático de tensión (AVR) y la resistencia de cuadratura que siendo parte del generador se instalará en el tablero como medida de protección.

El tablero principal llevará un Interruptor General del tipo termomagnético para protección térmica por sobrecarga y magnética por cor

tocircuito, así mismo incorporará elemento de señalización y alarma del rele tipo Buchholz que interviene cuando al interior del transformador se ha producido una falla en el aislamiento (salida de gases) o cuando el nivel de aceite del transformador disminuye en forma anormal por eventuales fugas en el tanque.

En el siguiente acápite se efectuarán cálculos de la potencia de cortocircuito, válidos para el dimensionamiento de barras y la selección de los interruptores.

#### 5.2.5.1 Cálculo de la corriente de cortocircuitos:

Los cortocircuitos son todos los defectos provocados por un contacto, bien entre un conductor y tierra o cualquier pieza metálica unida a ella o bien entre conductores. En la casi totalidad de los casos, este contacto tiene lugar por intermedio de un arco.

Para el cálculo de la potencia de cortocircuito, en la figura No 5.14 se muestra la disposición de los equipos que involucra al sistema eléctrico, materia del presente estudio.

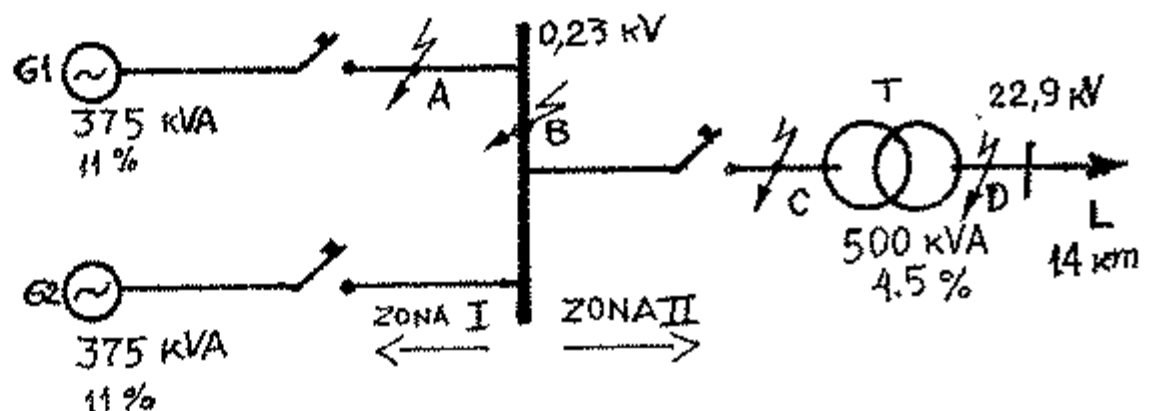


Fig. 5.14 - Esquema del sistema eléctrico

Se cuenta con los siguientes datos:

G1 y G2 : Generadores de 375 kVA, con 0,23 kV,  $x = 11\%$  (reactancia subtransitoria).

T : Transformador de 500 kVA, 0,23/22,9-13,2 kV,  $x = 4,5\%$  (tensión de cortocircuito).

L : Línea Primaria a 22,9-13,2 kV,  $x = 0,522 \Omega/\text{km}$ , y una longitud media igual a 14 km

Para obtener los valores en "pu", elegimos la potencia de base:

$$N_B = 0,5 \text{ MVA}$$

Entonces : la tensión, la corriente, y la impedancia de base, para las zonas I y II serán:

Zona I :  $V_B = 0,23 \text{ kV}$   
 $I_B = \frac{0,5}{\sqrt{3} \times 0,23} = 1,25 \text{ kA}$

Zona II:  $V_B = 22,9 \text{ kV}$   
 $I_B = \frac{0,5}{\sqrt{3} \times 22,9} = 0,012 \text{ kA}$   
 $Z_B = \frac{22,9^2}{0,5} = 1048,8$

Llevando los datos a valores en "pu"

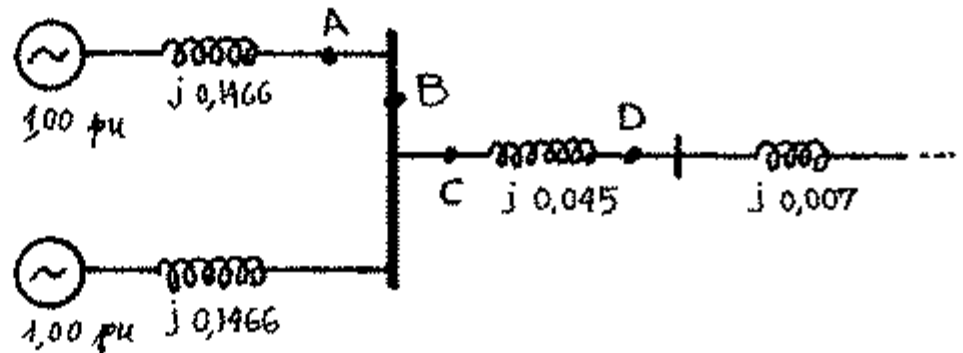
G1 y G2 :  $x = 0,11 \left( \frac{0,5}{0,375} \right) \left( \frac{0,23}{0,23} \right)^2 = 0,1466$

T :  $x = 0,045 \left( \frac{0,5}{0,5} \right) \left( \frac{22,9}{22,9} \right)^2 = 0,045$

L :  $x = \frac{0,522 \times 14}{1048,8} = 0,007$

Ademas la tensión de generación y distribución es: 1 pu

En la siguiente figura se muestra el diagrama del sistema eléctrico en valores por unidad, así mismo se indican los lugares críticos donde ocurrirán los cortocircuitos.



A continuación calcularemos los cortocircuitos en los diferentes puntos del sistema.

a) Cortocircuito en A:

Se considera que el cortocircuito se produce en los bornes del generador o en las primeras espiras del arrollamiento. El interruptor del generador G1 debe cortar la corriente de cortocircuito de G2, como trabaja en paralelo la única impedancia es la de éste. En el caso de existir más generadores en paralelo, la impedancia a considerar será la resultante en paralelo de los generadores que estarán actuando sobre el interruptor del generador G1.

La corriente nominal de cada generador será:

$$I_n = \frac{375}{3 \times 0,23} = 941,3 \text{ A}$$

Para los calculos llamaremos:

- $I_{cc,pu}$  = Corriente de cortocircuito en "pu"
- $I_{cc}$  = Corriente de cortocircuito en valores reales en kA
- $I_B$  = Corriente máxima de cortocircuito de choque ( $\approx 2,55 I_{cc}$ )
- $I_d$  = Corriente de desconexión: ( $= \mu I_{cc}$ ),  $\mu$  es un coeficiente, se obtiene según Fig. 5.15 adjunto.
- $P_r$  = Capacidad de ruptura:  $\sqrt{3} \cdot V \cdot I_d$ ; V=Tensión nominal
- $I_p$  = Corriente permanente de cortocircuito: ( $= \mu_d I_{cc}$ ), " $\mu_d$ " es un coef., se obtiene según Fig. 5.16 adjunto.

El cálculo de estos parametros del cortocircuito, permitira la selección adecuadas de los equipos y materiales así como su seleccionamiento respectivo.

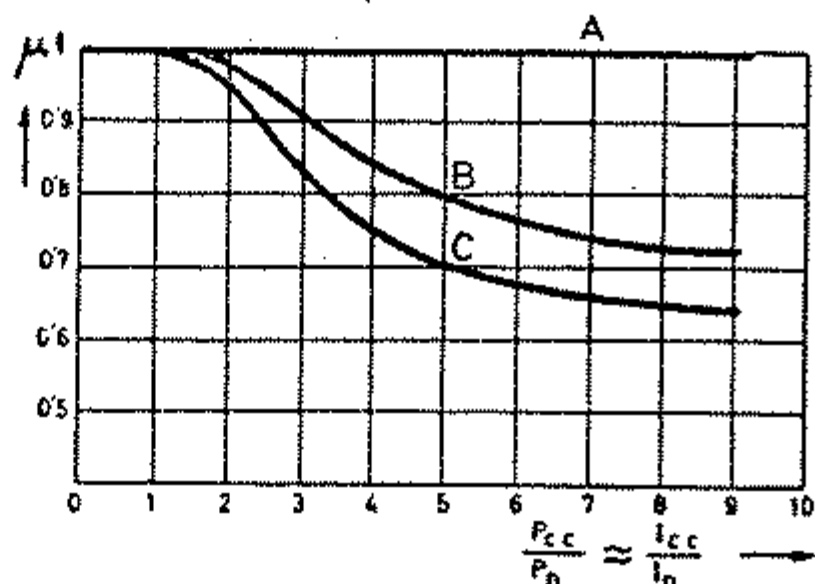


Fig. 5.15

Valores del coeficiente  $\mu$  para diferentes retardos en la interrupción de los aparatos de corte: A—Valores de  $\mu$  para un retardo de 0 segundos (fusibles). B—Valores de  $\mu$  para un retardo de 0,1 segundos (disyuntores rápidos). C—Valores de  $\mu$  para un retardo de 0,25 segundos (disyuntores normales).

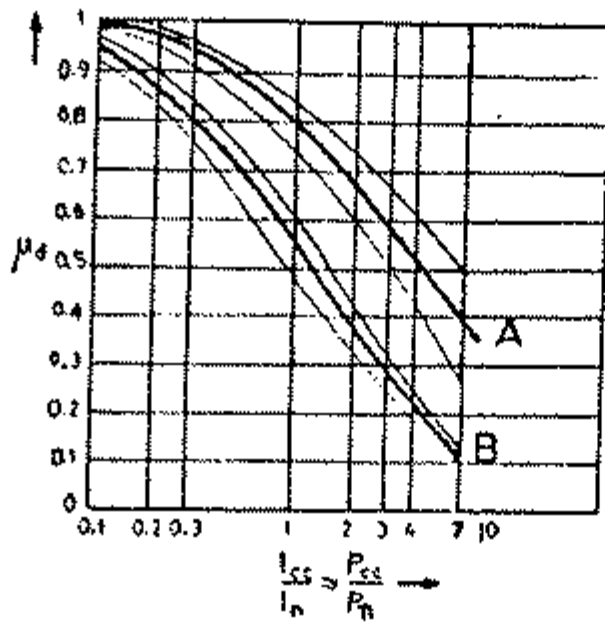


Fig. 5.16

Valores del coeficiente  $\mu_d$  para distintas condiciones de funcionamiento. A — Funcionamiento con excitación a plena carga y  $\cos \phi = 0.8$ . B — Funcionamiento en vacío.

Obtenemos:

$$I_{cc,pu} = \frac{1,00}{0,1466} = 6.81 \text{ pu}$$

$$I_{cc} = 6,81 \times 1,25 = 8,5125 \text{ kA}$$

$$I_s = 2,55 \times 8,5125 = 21,71 \text{ kA}$$

$$I_d = 0,72 \times 8,5125 = 6,129 \text{ kA}$$

$$P_r = 3 \times 0,23 \times 6,129 = 2,44 \text{ MVA}$$

$$I_p = 0,35 \times 8,5125 = 2,98 \text{ kA}$$

$$I_{cc} / I_n = 9 \text{ , entonces: } \begin{matrix} \mu = 0,72 \\ \mu_d = 0,35 \end{matrix}$$

Por lo tanto, y resumiendo, la resistencia mecánica de la instalación debe ser suficiente para soportar los esfuerzos electrodinámicos provocados por la corriente máxima de cortocircuito de choque, es decir, 21,71 kA, el disyuntor o interruptor automático del generador habrá de tener una capacidad de ruptura mínima de 2,44 MVA y esta línea de salida tiene que dimensionarse para soportar, sin calentarse excesivamente, una corriente permanente de cortocircuito de 2,98 kA.

Analisis similares se seguirán para los otros puntos.

b) Cortocircuito en B:

El interruptor de cada generador debe cortar su propia corriente de cortocircuito. Los resultados son los mismos que los hallados en el caso anterior.

$$I_n : 0,9413 \text{ kA}$$

$$I_{cc} : 8,5125 \text{ kA}$$

$$I_s : 21,71 \text{ kA}$$

$$P_r : 2,44 \text{ MVA}$$

$$I_p : 2,98 \text{ kA}$$

c) Cortocircuito en C:

En este punto, el interruptor del transformador es solicitado por la corriente integral de cortocircuito de la central. La impedancia será el que corresponde al paralelo de los generadores:  $x = 0,1466/2 = 0,0733 \text{ pu}$ .

Obtenemos:

$$I_{cc,pu} = \frac{1,00}{0,0733} = 13,64 \text{ pu}$$

$$I_{cc} = 13,64 \times 1,25 = 17,12 \text{ kA}$$

$$I_s = 2,55 \times 17,12 = 43,65 \text{ kA}$$

$$I_d = 0,72 \times 17,12 = 12,33 \text{ kA}$$

$$P_r = 3 \times 0,23 \times 12,33 = 4,88 \text{ MVA}$$

$$I_p = 0,35 \times 17,12 = 6,00 \text{ kA}$$

$$I_n = 1,8826 \text{ kA}$$

d) Cortocircuito en D:

El cálculo es semejante, a la impedancia hallada en el caso C, se le adiciona la del transformador:  $x=0,1183 \text{ pu}$



Obtenemos:

$$I_n = \frac{2 \times 375}{3 \times 22,9} = 18,91 \text{ A } \delta \text{ } 0,019 \text{ kA}$$

$$I_{cc} = \frac{1,00}{0,1183} = 8,45 \text{ pu}$$

$$I_{cc} = 8,45 \times 0,012 = 0,1065 \text{ kA}$$

$$I_g = 2,55 \times 0,1065 = 0,2716 \text{ kA}$$

$$P_r = 3 \times 22,9 \times 0,083 = 3,29 \text{ MVA}$$

$$I_d = 0,78 \times 0,1065 = 0,083 \text{ kA}$$

$$I_p = 0,45 \times 0,1065 = 0,048 \text{ kA}$$

$$I_{cc} / I_n = 5,6 \text{ , entonces: } \mu = 0,78 \\ \mu_d = 0,45$$

El resultado de los cálculos permite, seleccionar los equipos mediante los catalogos del fabricante. En el capitulo VII, se dan las especificaciones técnicas correspondientes.

#### 5.2.5.2 Cálculo de la Barra de Baja Tensión:

Según fig. 5.14 (acapite anterior), si se produce una falla en el punto "B", osea en las barras de baja tensión, estos deberán soportar la corriente de cortocircuito que contribuye cada generador, o mejor dicho la corriente de falla que correspondería a la potencia total de la central, este valor es equivalente al cortocircuito del punto "C". Luego la corriente de cortocircuito será:

$$I_{cc} = 17,12 \text{ kA}$$

Ademas la corriente de cortocircuito máxima de choque es :  $I_g = 43,65 \text{ kA}$

La fuerza "F" por unidad de longitud debido a la corriente de choque  $I_s$  en kA, sobre una barra a d cm. de otra está dada por la formula:

$$F = 2.04 \frac{I_s^2}{d} \quad \text{kg/m}$$

Con: d = 20 cm., se obtiene: F = 194,4 kg/m.

Esta fuerza para una longitud de la barra de 1 m. será: 194,4 kg/m

Suponiendo a las barras como vigas sometidas a una carga uniformemente repartida, el momento de flexión debido a la fuerza "F", para la barra colectora, está dada por la formula:

$$M_b = \frac{F \cdot L}{16} \quad \text{kg-cm}$$

Donde:

$M_b$  = Momento flector, en kg - cm.

F = Fuerza sobre el tramo de barra de longitud 1 m. : 194,4 kg

L = Longitud entre Aisladores: 100 cm

Reemplazando valores, obtenemos:

$$M_b = 1215 \text{ kg-cm.}$$

El momento resistente necesario para que la barra deba soportar y siga trabajando en su rango elástico, se calcula por la fórmula:

$$W_b = \frac{M_b}{K_b} \quad \text{cm}^3$$

Donde:

$W_b$  = Momento resistente mínimo, en  $\text{cm}^3$

$M_b$  = Momento flector: 1215 kg-cm.

$K_b$  = Carga admisible, vale:

Para el cobre: 1000 a 1200 kg/cm<sup>2</sup>

Para el aluminio: 400 a 600 "

Tomamos:  $K_b = 1100$  kg/cm<sup>2</sup>

Reemplazando valores, obtenemos:

$$W_b = 1,10 \text{ cm}^3$$

Por otro lado considerando que los ge  
neradores acoplados en paralelo trabajan  
a plena carga, la corriente nominal  
que pasa por la barra de baja tensión  
es: 1882,6 A

Para esta corriente nominal, según :  
DIN 40500 hoja 3., seleccionamos las  
barras de 120 X 10 mm. que tiene una  
capacidad de corriente permanente igual  
al a 2110 A. y pesa 10,7 kg/m.

La instalación de la barra tendrá el  
arreglo como se muestra en la Fig.  
5.17 :

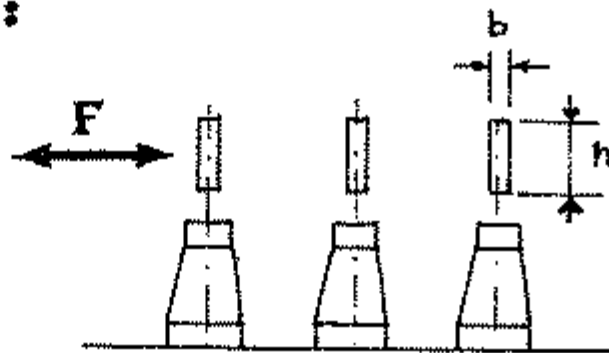


Fig. 5.17 - Disposición  
de barras del tablero.

El momento resistente de estas barras  
está dada por la formula:

$$W = \frac{h \cdot b^2}{6} \quad \text{cm}^3$$

Donde:

$h$  = Altura de la barra: 12 cm.

$b$  = Base de la barra: 1 cm.

Entonces:  $W = 2 \text{ cm}^3$

Del resultado de los cálculos, concluimos que la barra elejida es la correcta, pues el momento resistente de las barras es superior a la solicitada por la carga; ( $W_b < W$ ), y las barras trabajaran con un coeficiente de seguridad igual a:  $2/1,1 = 1,8$ .

Por último chequearemos a las barras por el efecto de la resonancia que muy bien se producirían en el caso de cortocircuitos. La frecuencia natural de oscilación de la barra o llamado tambien oscilación mecánica está dada por:

$$f = \frac{112}{L^2} \sqrt{\frac{E \cdot J}{G}}$$

Donde:

$f$  = Frecuencia natural, y no debe estar comprendido en los intervalos:

$$54 < f < 66$$

$$108 < f < 132$$

Es decir el resultado no debe hallarse en el intervalo  $\pm 10\%$  de 60 Hz. o del doble de ella 120 Hz

$E$  = Modulo de elasticidad:

Para cobre :  $1,25 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

Para alumin:  $0,72 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

$J$  = Momento de inercia de la barra:

$h \cdot b^3 / 12$ , entonces:  $1 \text{ cm}^3$

$G$  = Peso de la barra: 10,7 kg.

$L$  = Longitud de la barra: 100 cm.

Luego reemplazando valores, obtenemos:

$$f = 3,82 \text{ Hz.}$$

Por lo calculado queda eliminado toda posibilidad que se puedan presentar, esfuerzos adicionales sobre la barra a causa de la frecuencia natural de oscilación de la barra.

### 5.2.5.3 Selección de Equipos de la Sub-estación Elevadora:

El patio de llaves de nuestra central por el nivel de potencia que ha de generar, se reduce a la instalación de un poste de salida, seccionadores tipo cut-out, pararrayos y el transformador, sin por ello descuidar las exigencias mínimas de seguridad y operatividad que se pueda esperar, así la instalación queda protegida contra cortocircuitos por el seccionador cut-out, las sobrecargas los protege el interruptor automático principal y los pararrayos actuaran contra las sobrecargas de origen atmosférico principalmente. Se aclara que este tipo de instalación está permitido por la característica de la carga rural, donde la economía de las instalaciones es un factor importante.

#### Seccionador Fusible:

Dispositivo que está destinado a cortar automáticamente el circuito eléctrico, cuando la corriente que lo atraviesa excede de cierto valor; este cor

te se consigue por fusión de un alambre fusible, el cual se calienta cuando la corriente sobrepasa de cierto valor, fundiéndose e interrumpiendo el circuito. El fusible entonces constituye un medio de protección, simple económico, aunque con bastantes limitaciones.

Los seccionadores fusible cut-out, se seleccionan por el Nivel Básico de Aislamiento (NAB), por la altitud de operación y por la tensión del sistema. Por recomendación de ELECTROPERU el seccionador tiene las siguientes características:

- Tensión nominal del sistema : 22,9/13,2 kV
- Tensión nominal del seccionador : 27/38 kV
- Altitud de operación : 3900 msnm
- Nivel Básico de Aislamiento : 150 kV

Mayores especificaciones se verá en el capítulo correspondiente a especificaciones técnicas.

#### Pararrayo:

Es el dispositivo destinado a descargar las sobretensiones producidas por descargas atmosféricas, por maniobras o por otras causas que, en otro caso, se descargarían sobre los aisladores, perforaría el aislamiento, ocasionan-

do interrupciones en el sistema eléctrico y , en muchos casos, desperfectos en los generadores y el transformador.

Los pararrayos serán del tipo autoavalvular, se selecciona principalmente por lo siguiente:

- Por la tensión máxima de operación del sistema.
- Por el sistema de puesta a tierra: aislado, puesto a tierra en la subestación alimentadora, con neutro multiterrizado.
- Por la importancia del sistema a proteger.
- Por la altitud de la instalación.
- Por la coordinación del aislamiento.

Por recomendación de ELECTROPERU, el pararrayos, tendrá las siguientes características:

- = Tensión nominal del sistema : 22.9/13,2 kV
- = Tensión nominal del pararrayo : 18 kV
- = Nivel de Aislamiento Básico (NAB) : 125 kV
- = Altitud de operación : 3900 msnm

Mayores especificaciones se verá en el capítulo correspondiente a las especificaciones técnicas.

5.2.5.4 Sistema de Puesta a Tierra:

La puesta a tierra está destinada a conducir y/o dispersar tipos de corrientes eléctricas, cumpliendo dos objetivos principales:

- Evitar gradientes peligrosos entre la infraestructura de superficie y el suelo para: protección de personas mediante tensiones de toque y de paso de baja magnitud; protección de los equipos, evitando potenciales nocivos y el entretenimiento de descargas.
- Propiciar un circuito conductor/dispersor de baja impedancia a un menor costo para: correcta operación de la protección; dispersión rápida de elevadas corrientes, evitando sobretensiones de rayo, o deterioro por corriente de cortocircuito.

ELECTROPERU, ha preparado un volumen sobre "Aterramiento en Sistema de Electrificación rural", recomendándose que la resistencia de tierra de cualquier punto de aterramiento siempre sea inferior a los 20 ohmios, en todo sistema con neutro continuo multiterrado, o en los sistemas trifásicos sin neutro. Y para los sistemas monofiliares la resistencia de aterramiento debe ser limitada a 10 ohm. El Código Nacional de Electricidad recomienda no sobrepasar los 25 ohm.

Para nuestro caso el límite es 20 ohm.



ELECTROPERU, recomienda instalar las astas o varillas en el orden en que se muestran en la fig. 5.18 . Para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra, seguimos el siguiente procedimiento:

La resistencia de una varilla como la mostrada en la fig. 5.18 , viene dada por:

$$R = \frac{\rho}{2 \pi \cdot l} \ln \frac{4 l}{1,36 d}$$

La resistencia compuesta por tres varillas en línea recta, viene dada por:

$$R_3 = R \left( \frac{2 + \alpha - 4\alpha^2}{6 - 7\alpha} \right)$$

Donde:

R = Resistencia de una varilla (ohm)

$R_3$  = Resistencia de tres varillas

$\alpha$  = Coeficiente de reducción

a = Distancia entre varillas: 4 m.

r = Radio semiesférico equivalente

d = Diámetro de varilla: 0,0095 m.

l = Longitud de la varilla: 2,5 m.

$$\alpha = \frac{r}{a} \quad , \quad r = \frac{1}{\ln \frac{4 l}{d}}$$

$\rho$  = Resistividad del suelo, según mediciones efectuadas: 100  $\Omega$ -m.

Efectuando cálculos, con los valores hallados, la resistencia a tierra del conjunto de las tres varillas será:

$$R_3 = 16,22 \text{ ohm}$$

El valor de la Resistencia calculada es aceptable, sin embargo se deja la posibilidad de instalar mas varillas, como las mostradas en la Fig. 5.18 , cuando las mediciones efectuadas en sitio, todavia no han sido satisfechas.

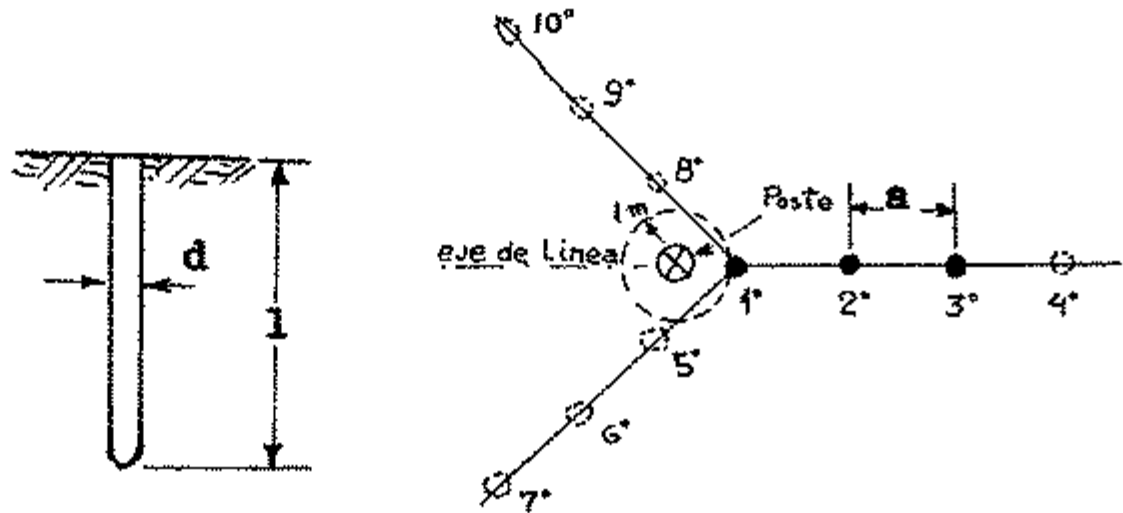


Fig. 5.18 - Sistema de puesta a tierra.

La instalación contara, con dos juegos de puesta a tierra, uno para los equipos de alta tensión y el otro para los de baja tensión.

#### 5.2.6 Servicios Auxiliares:

Los Servicios Auxiliares de nuestra central estará constituido por:

- Un cargador de baterias provisto de un rectificador de 0,5 W , y dos baterias de 24 V. DC de 21 placas.
- Un tablero tipo mural con 5 salidas provistos de interruptores termomagnéticos, para los circuitos de tomacorrientes, Alumbrado interior y exterior.

Para la protección contra las descargas atmosféricas directas, en el techo de la casa de fuerza se instalarán pararrayos tipo "asta".

### 5.3 LINEAS PRIMARIAS:

Aunque no forma parte del proyecto, es preciso conocer sus características, y nos da una concepción global del sistema eléctrico, al cual dará servicio nuestra central.

Definido las localidades conformantes de nuestro Pequeño Sistema Eléctrico (PSE), elaboradas sus proyecciones (a 25 años) del mercado eléctrico y considerando el nivel de tensión a 22,9 - 13,2 kV, se procede a realizar los enlaces mediante Líneas eléctricas a cada una de las localidades.

#### Nivel de Aislamiento:

El aislamiento del sistema debe soportar las tensiones de operación normal y las sobretensiones momentáneas que pueden ser de origen externo e interno sin que ocurra flameo o falla. Así mismo los niveles de aislamiento externo de los equipos eléctricos, que se instalan en el sistema como: aisladores pasatapas, etc, deben ser incrementados con la altitud a razón de 1,25% por cada 1000 msnm.

Al seleccionar los equipos es de primordial interés que tipo de sistema se está utilizando: Neutro solidamente en la SS.EE. Elevadora y en la carga, o Neutro corrido multiterrizado (neutro flotante).

Según la Tensión Nominal del sistema, se tendrá distintos niveles de aislamiento para los equipos. En el siguiente cuadro se muestran estos, para la electrificación rural.

| Tensión Nominal (kV) | Tensión Máxima (kV) | Aislamiento (kV) | T.no Disrup. al Impul (kV) |     | T.no Disruptiva (kV) |     |
|----------------------|---------------------|------------------|----------------------------|-----|----------------------|-----|
|                      |                     |                  | (1)                        | (2) | (1)                  | (2) |
| 22,9/13,2            | 25,2/14,5           | 18               | 125                        | 125 | 50                   | 40  |
| 22,9                 | 25,2                | 25               | -                          | 150 | 50                   | 50  |
| 13,2                 | 14,5                | 15               | 95                         | 95  | 38                   | 34  |

Para el cuadro anterior son validas las siguientes anotaciones:

- (1) Práctica Europea.
- (2) Práctica Americana.

### 5.3.1 Subestaciones de Distribución:

Los transformadores serán del tipo autoprotegido, con capacidades: 15, 25 y 37,5 kVA, con relación de:  $13,2 \pm 2 \times 2,5\% / 0,46 - 0,23$  kV conmutable a 230 V.

En el siguiente cuadro se muestran las capacidades de los transformadores para cada una de las localidades en estudio.

**CUADRO 5.5**  
**POTENCIA DE SS. EE. DE DISTRIBUCION**

| Localidad    | M. D.<br>(kW) | M. D.<br>(kVA) | No. de<br>trafos | Cap. Trafo<br>(kVA) |
|--------------|---------------|----------------|------------------|---------------------|
| Limbaní      | 136,0         | 160,0          | 3                | 37,5                |
| Huancasayani | 32,6          | 38,3           | 1                | 25,0                |
| Phara        | 76,0          | 89,4           | 2                | 37,5                |
| Cullocachi   | 30,0          | 35,3           | 1                | 25,0                |
| Chejani      | 29,5          | 34,7           | 1                | 25,0                |
| Comunidad    | 23,0          | 27,0           | 1                | 25,0                |
| Cahuichana   | 18,7          | 22,0           | 1                | 15,0                |
| Toldollueri  | 19,7          | 23,2           | 1                | 15,0                |
| Patambuco    | 90,0          | 106,0          | 2                | 37,5                |
| Ccarahuana   | 22,8          | 27,0           | 1                | 25,0                |
| Canu canu    | 16,7          | 19,6           | 1                | 15,0                |

La máxima Demanda (M.D.), señaladas en el cuadro son las calculadas en el acápite 3.4.2.7 (Estudio del Mercado Eléctrico).

Así mismo al definir la capacidad de los transformadores se tuvo en cuenta las sobrecargas admisibles permitidas.

Las subestaciones serán aéreas del tipo Monoposte (SAM).

### 5.3.2 Línea Primaria y Redes de Distribución Primaria:

En la Lámina No 5.1 se muestra el diagrama unifilar de la configuración eléctrica del Pequeño Sistema Eléctrico en estudio.

Según esto procedemos a efectuar los cálculos de caída de tensión, pérdidas de potencia, resistencia o impedancia de los conductores, y determinamos el calibre adecuado del conductor a utilizar.

#### Regulación de Tensión:

Las caídas máximas de tensión permitidas para nuestro proyecto son las siguientes:

- Línea Primaria 22,9 - 13,2 kV : 8,5 %
- Redes Primarias a 13,2 kV : 3,5 %

La formula empleada para el cálculo de la caída de tensión es:

$$\%V = \frac{kW \cdot km}{10 kV^2} ( r + x \operatorname{tag}\theta )$$

$$K = r + x \operatorname{tag}\theta \quad \text{en: } (\Omega/\text{km})$$

$$x = 0,1734 \operatorname{Log}(D_e/D_s) \quad ; (\Omega/\text{km})$$

Donde:

kW : Potencia a transmitir.

km : Distancia de la línea.

kV : Tensión de la línea.

r : Resistencia de la línea ( $\Omega/\text{km}$ )

$3 \varnothing$  : r= Resistencia del conductor a 40°C

MRT : r= 0,06 + Resistencia del conductor a 30°C.

$D_e$  : Radio equivalente de los conductores:

$$3 \varnothing : D_e = \sqrt[3]{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3} \quad , \text{ en m.}$$

$$\text{MRT} : D_e = 85 \sqrt{P} \quad , \text{ en m.}$$

$P$  = Resistividad media del terreno, se estimo en  $250 \Omega\text{-m}$ .

$D_g$  : Radio medio geométrico del conductor, m.

$\varnothing$  : Angulo del factor de potencia.

$K$  : Factor para el cálculo de caída de tensión.

$x$  : Reactancia Inductiva de la línea.

En el cuadro No 5.6 , se muestran los distintos factores descritos, según la sección nominal del conductor de cobre.

**CUADRO No 5.6**  
**FACTORES DE CAIDA DE TENSION**

| Sección (mm <sup>2</sup> ) | 10      | 16      | 25      | 35      |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|
| $r$ , 20°C                 | 1,830   | 1,150   | 0,727   | 0,524   |
| $r$ , 30°C                 | 1,900   | 1,194   | 0,755   | 0,544   |
| $r$ , MRT                  | 1,960   | 1,254   | 0,815   | 0,604   |
| $D_e$ , 3 $\varnothing$    | 1,459   | 1,459   | 1,459   | 1,459   |
| $D_e$ , MRT                | 1,344   | 1,344   | 1,344   | 1,344   |
| $D_g$                      | 0,00143 | 0,00192 | 0,00218 | 0,00209 |
| $x$ , 3 $\varnothing$      | 0,522   | 0,500   | 0,490   | 0,474   |
| $x$ , MRT                  | 1,036   | 1,013   | 1,004   | 0,988   |
| $K$ , 3 $\varnothing$      | 2,150   | 1,440   | 0,990   | 0,770   |
| $K$ , MRT                  | 2,460   | 1,745   | 1,031   | 1,082   |

Las caídas de tensión calculadas se muestran en el cuadro No 5.8 .

**Pérdida de Potencia:**

El porcentaje de pérdida de potencia en las líneas lo determinamos en función de la regulación de tensión y por la configuración eléctrica; para su cálculo nos valemos de la siguiente expresión:

$$\%P = \frac{r}{K \cdot \cos^2\phi} \cdot \%V = M \cdot \%V$$

Donde:

$\%P$  = % de pérdida de potencia.

$\%V$  = % de caída de tensión.

$\cos\phi$  = Factor de potencia de la carga.

En el cuadro No 5.7 se dan los factores de caída de potencia "M", según la sección nominal del conductor de cobre.

**CUADRO No 5.7**  
**FACTORES DE PERDIDA DE POTENCIA**

| Sección<br>(mm <sup>2</sup> ) | 10    | 16    | 25    | 35    |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| r , 3 Ø                       | 1,900 | 1,194 | 0,755 | 0,544 |
| r , MRT                       | 1,960 | 1,254 | 0,815 | 0,604 |
| K , 3 Ø                       | 2,150 | 1,436 | 0,992 | 0,773 |
| K , MRT                       | 2,460 | 1,745 | 1,031 | 0,882 |
| M , 3 Ø                       | 1,091 | 1,026 | 0,940 | 0,869 |
| M , MRT                       | 0,984 | 0,887 | 0,773 | 0,689 |

El resumen de los cálculos de la pérdida de potencia se muestra en el cuadro No 5.8 (Hoja de Cálculo), del PSE Limbani.

Del resultado de los calculos concluimos que la infraestructura de redes será con el conductor de sección nominal 10 mm<sup>2</sup>, que permite una caída de tensión máxima del 5%, valor que esta por debajo a la máxima permitida igual a: 8,5% .

CUADRO No 5.8

| HOJA DE CALCULOS DE CAIDA DE TENSION Y PERDIDAS DE POTENCIA |              |       |       |      |         |       |                          |      |       |                 |       |       |                  |
|---|--------------|-------|-------|------|---------|-------|--------------------------|------|-------|-----------------|-------|-------|------------------|
| PEQUEÑO SISTEMA ELECTRICO : LIMBANI                         |              |       |       |      |         |       |                          |      |       | FECHA : NOV. 86 |       |       |                  |
| TRAMO   | LOCALIDAD    | kW    | ∑kW   | km   | km. ∑kW | SIST. | SECC.<br>mm <sup>2</sup> | K    | %V    | ∑%V             | M     | %P    | PERD. POT.<br>kW |
| 0-1   | Limbani      | 135,9 | 462,3 | 1,2  | 554,76  | 3 Ø   | 10                       | 2,15 | 0,227 | 0,227           | 1,091 | 0,247 | 1,14             |
| 1-2   | Phara        | 76,0  | 326,4 | 5,0  | 1632,00 | 3 Ø   | 10                       | 2,15 | 0,669 | 0,896           | 1,091 | 0,729 | 2,38             |
| 2-3   | Culloeachi   | 30,0  | 207,7 | 2,5  | 519,25  | 3 Ø   | 10                       | 2,15 | 0,213 | 1,109           | 1,091 | 0,232 | 0,05             |
| 3-4   | Chejani      | 24,5  | 177,7 | 10,0 | 1777,00 | 3 Ø   | 10                       | 2,15 | 0,728 | 1,837           | 1,091 | 0,794 | 1,41             |
| 4-5   | Patambuco    | 90,0  | 129,5 | 16,5 | 2136,75 | MRT   | 10                       | 2,46 | 3,016 | 4,853           | 0,984 | 2,967 | 3,84             |
| 5-6   | Canu canu    | 16,7  | 16,7  | 8,0  | 133,60  | MRT   | 10                       | 2,46 | 0,188 | 5,041           | 0,984 | 0,184 | 0,03             |
| 2-2   | Comunidad    | 23,0  | 23,0  | 1,8  | 41,40   | MRT   | 10                       | 2,46 | 0,058 | 0,954           | 0,984 | 0,057 | 0,01             |
| 2-22  | Toldollueri  | 19,7  | 19,7  | 2,5  | 49,25   | MRT   | 10                       | 2,46 | 0,069 | 0,965           | 0,984 | 0,068 | 0,01             |
| 4-41  | Cahuichana   | 18,7  | 18,7  | 7,5  | 140,25  | MRT   | 10                       | 2,46 | 0,198 | 2,035           | 0,984 | 0,195 | 0,04             |
| 5-51  | Carahuana    | 22,8  | 22,8  | 3,0  | 68,40   | MRT   | 10                       | 2,46 | 0,096 | 4,949           | 0,984 | 0,094 | 0,02             |
| 0-7   | Huancasayani | 32,6  | 32,6  | 4,5  | 146,7   | MRT   | 10                       | 2,46 | 0,207 | 0,207           | 0,984 | 0,204 | 0,06             |
|   |              |       |       |      |         |       |                          |      |       |                 |       | ∑kW   | 9,00             |



## VI EVALUACION ECONOMICA

### 6.1 GENERALIDADES:

En este capitulo se pretende delinear de un modo general de una de las formas de analizar y evaluar proyectos, que en este caso se dirige a nuestra Central.

Despues de definir algunas consideraciones generales se explicará las razones y la necesidad de evaluar los proyectos, así como las diferentes formas y criterios que se puedan emplear para dicho analisis, a la vez se explicará la utilidad que podria obtenerse de este importante aporte, que debe ser incluido en todo proyecto antes de su fase de implementación.

Los proyectos en general según su periodo de maduración desde la etapa de prefactibilidad, factibilidad y definitivo, requieren de mayor profundidad de los estudios conforme se va avanzando, hasta que se llega a decidir el inicio de su ejecución. Esto tambien se produce en la medida que el tamaño del proyecto lo exija; así conforme es mayor se precisa más detalle, para luego poder tener mayor seguridad sobre la decisión de realizar la inversión. En el caso de nuestro proyecto, esto tambien se cumple y quizas la necesidad de evaluación sea mayor ya que se trata de proyectos

que incidirán en poblaciones rurales donde con frecuencia el nivel de ingresos es más bajo que el promedio nacional. Por esta razón será necesario dejar claramente establecido el tipo de rentabilidad que el proyecto de una Pequeña Central Hidroeléctrica debe producir.

## 6.2 ANALISIS ECONOMICO NACIONAL:

En este punto del estudio se determinará la rentabilidad económica del proyecto, analizado desde el punto de vista nacional, se mostrara la factibilidad económica del proyecto, lo cual implica cuantificar los efectos directos e indirectos del proyecto a partir de los llamados precios sociales, sombra o de cuenta. De esta forma se determinará la eficiencia del proyecto que permitirá su selección y priorización requerida para un posterior estudio definitivo.

La metodología hace uso de las reglas generalmente aceptadas para el Análisis Económico Nacional, utilizándose como documento base "La Metodología para el Analisis Económico de Centrales Hidroeléctricas Pequeñas en el Perú", elaborada por la firma Consultora Arthur Little Inc. en Diciembre de 1981, en razón del convenio suscrito por la A.I.D y KLECTROPERU.

Por lo tanto, las decisiones de Inversión a adoptarse en etapas sucesivas del proyecto deben tener en consideración los indicadores de rentabilidad contenidos en el presente capítulo. Para cuantificar los efectos directos e indirectos del proyecto, se procedió de la siguiente forma:

Beneficios: Por el lado de los beneficios el efecto directo del proyecto está dado por la venta de

energía a una tarifa dada, el valor residual de los activos y la recuperación del capital de trabajo medidos a precios de cuenta o sombra.

Los beneficios indirectos del proyecto son cuantificados a partir del "excedente del consumidor" de la microregión.

Los porcentajes de sustitución de energía que serán sustituidas con el proyecto son los siguientes:

- Kerosene para alumbrado, pilas y velas.....100 %
- Kerosene y leña para uso domestico..... 5 %

El equivalente de energía expresado en kWh, nos permite ubicar el punto "a" que se muestra en la lámina No 6.1. El punto "b" en ese mismo gráfico se determina a partir de los valores obtenidos en el Estudio de Mercado Eléctrico, es decir teniendo en cuenta la implementación del proyecto. La unión de estos 2 puntos, a y b, define la curva de demanda de energía utilizada actualmente "sin proyecto", y la tarifa promedio a cobrarse "con proyecto", respectivamente. Conceptualmente, el excedente del consumidor viene a ser el ahorro que tendría los centros poblados al reemplazar el uso de fuentes de energía como el kerosene, pilas, velas, etc. a un costo elevado; por el de la energía eléctrica generada por La Central Hidroeléctrica materia del presente estudio y a una tarifa sensiblemente menor.

Otro de los beneficios indirectos del proyecto se determina mediante la valorización de los Recursos Desplazados; es decir los recursos que al entrar en funcionamiento el proyecto dejarán de ser usados por la población, motivo por el cual podrá dársele otros usos, por esta razón su valorización presupone un empleo alternativo óptimo al mejor precio posible.

Costos: El efecto directo de los costos viene dado fundamentalmente por los costos de inversión, el capital de trabajo y los gastos anuales de operación y mantenimiento del proyecto, valorados a precios cuenta o sombra.

Los efectos indirectos correspondientes se determinan a partir de los costos de recursos desplazados, mencionados anteriormente, valorados a precios mercado interno y/o precios locales.

#### 6.2.1 Premisas Consideradas:

El horizonte de planeamiento del proyecto es de 27 años, incluido el periodo de inversión (2 años).

- A fin de uniformizar la base de análisis, los costos de inversión han sido calculados a precios de julio de 1986.
- Se ha utilizado un tipo de cambio de 17,32 intis/dolar, que corresponde a julio-1986.
- Los precios de los combustibles están tomados a julio de 1986.
- La tarifa de la energía con el proyecto es de 0,03 dolar/kWh, considerandose este valor como tarifa promedio para este tipo de proyectos. Asimismo se determino que el costo a precio de julio de 1986 de la energía en la microregión es de
- El valor residual de las inversiones se ha determinado linealmente de acuerdo a la vida útil de las obras civiles y electromecánicas (25 años) ajustados por los valores de cuenta o sombra.

- Se han utilizado como tasas de descuento el 8%, 10%, 12% y 15%; estimandose que el valor de la tasa social o nacional de descuento se encuentra dentro de ese rango de valores.
- Los factores de ajuste utilizados fueron proporcionados por la oficina de Cooperación Internacional ELECTROPERU - AID y son los siguientes:

| <u>Concepto</u>             | <u>Factor</u> |
|-----------------------------|---------------|
| Mano de Obra Calificada     | 1,0           |
| Mano de Obra no Calificada  | 0,4           |
| Material y Equipo Importado | 0,9           |
| Material y Equipo Nacional  | 0,8           |
| Transporte Interno          | 1,0           |
| Materiales Locales          | 1,0           |

- Todo el análisis se realiza a precios constantes.

## 6.2.2 Beneficios del Proyecto:

### 6.2.2.1 Ingresos por la venta de energía:

Están dados por la cantidad de energía eléctrica vendida (ver Cuadro No 6.1 ), considerando la tarifa de venta del proyecto, el cual ha sido establecido en 0,03 dolar USA/kWh. Estos ingresos pueden apreciarse en el cuadro No 6.9

### 6.2.2.2 Excedente del Consumidor:

El cálculo del excedente del consumidor está encaminado hacia la estimación de los Beneficios Brutos Totales

les, de acuerdo a la metodología para el análisis de pequeñas centrales hidroeléctricas.

Del total de energía que se consume en la actualidad, se estima la cantidad de energía susceptible de ser sustituida por el proyecto (ver cuadro No 6.3) en caso de instalarse la central hidroeléctrica, la cual será en el año 1988 de 162975 kWh y cuyo costo equivalente es de 0,1778 dólar/kWh, que viene a ser el precio promedio ponderado que actualmente paga la población por el uso de dicha can- ti- dad de energía, según se muestra en el cuadro No 6.2.

De acuerdo al estudio del Mercado Eléctrico efectuado para la microregión, la cantidad de energía "con el proyecto" para el año 1988 es de 302015 kWh (ver cuadros 3.2, 3.3 y 6.1 consumos totales de energía), factible de ser vendida a razón de 0,03 dólar USA/kWh. Utilizando la nomenclatura de la lamina No 6.1 el excedente del consumidor vendría dado por la expresión:

$$E_c = \frac{q_1 + q_2}{2} \cdot (p_1 - p_2)$$

En el cuadro No 6.3 se puede apreciar cantidades del Excedente del Consumidor para los años 1988, 1993, 1998, 2003, 2008 y 2012 .

6.2.2.3 Valor Residual:

El valor estimado es aproximadamente de 75,230 dólar USA que es el valor del bien al final de la vida útil del proyecto, ajustados por los parametros nacionales.

6.2.2.4 Beneficios de los Recursos Desplazados:

La valorización de los recursos que dejarán de emplearse como fuente de generación, se ha efectuado a precios FOB de exportación para los combustibles a base de petróleo (Kerosene) y a precios locales las otras fuentes de generación (velas y pilas). Los precios para los diferentes tipos de combustibles, han sido tomados a julio de 1986 al tipo de cambio respectivo. Las cifras correspondientes, están indicadas en el cuadro No 6.9

6.2.2.5 Beneficios Brutos Totales:

De la sumatoria de las cantidades estimadas del ingreso por la venta de energía, el excedente del consumidor y los recursos desplazados, obtenemos los beneficios brutos totales que ascienden a 70,354 dólar USA para 1988, llegando a 259,612 dólar USA en el año 2012 (ver cuadro 6.9 ).

La relación excedente del consumidor /ingresos por venta de energía es de

3.79 para el año 1988 y de 2.75 para el último año del proyecto, conforme se indica en el cuadro No 6.3 .

**6.2.3 Costos Nacionales del Proyecto:**

**6.2.3.1 Costos de los Recursos Asignados:**

**-Costos de inversión a Precios de Mercado:**

**Costos Directos:**

Comprende la inversión en Obras Civiles y Equipo Electromecánico y asciende a 461,736 dólar USA incluyendo las 2 etapas, tal como se detalla a continuación:

|                  |            |      |
|------------------|------------|------|
| Obras Civiles    | 101,865.78 | 22%  |
| Tubería forzada  | 111,432.52 | 24%  |
| Obras Eléctricas | 64,552.54  | 14%  |
| Obras Mecánicas  | 183,885.68 | 40%  |
| Costo Directo    | 461,736.00 | 100% |

**Costos Indirectos:**

Se incluyen los costos de Ingeniería y Administración del Proyecto que se considera en 15% del costo directo y los imprevistos en 10% sobre el mismo monto.

**Costo de Construcción:**

Está constituido por la sumatoria de los costos directos e indirectos del proyecto y asciende a 577,171.00 dólar USA a julio de 1986. La estructura de la inversión por elementos de costo puede apreciarse en el cuadro



No 6.4 .

-Costos de Inversión a Precios Sombra

La inversión a nivel de costo de construcción asciende a 511,544 dólar USA, cuya estructura por elemento de costo se muestra en el cuadro No 6.5 .

-Capital de Trabajo:

Se ha considerado para los 3 primeros meses del primer año de operación los costos de operación y mantenimiento, ajustados por los parámetros nacionales.

-Costos de Operación y Mantenimiento:

Este rubro se determinó a partir de la siguiente expresión:

$$y = a \cdot x^b$$

Donde:

a = 1,015

b = 0,550

x = Potencia en kW de la central

y = Costos de operación y mantenimiento en dólar USA/año.

Los costos de operación y mantenimiento a precios de mercado para las 2 etapas es de 30,967 dólar USA. y a precios sombra asciende a 24,141 dólar USA, respectivamente.

Las cifras correspondientes pueden observarse en el cuadro No 6.6

para precios de mercado y sombra respectivamente.

**-Cronograma de Inversiones:**

En los cuadros No 6.7 y 6.8 , se muestran las inversiones a precios de mercado y a precios sombra respectivamente en sus diferentes rubros por años y etapas.

**6.2.3.2 Costos de los Recursos Desplazados:**

En el caso de los combustibles derivados del petróleo, los recursos desplazados con Costos son valorizados a precios del mercado interno vigente a julio de 1986 y válidos para la zona de costa y sierra al tipo de cambio de 17,32 Intis/dólar USA.

Para los otros recursos desplazados (pilas y velas) se han tomado los precios locales vigentes a la misma fecha de referencia.

Las cantidades de los combustibles considerados como fuente de generación actual, son los mismos tanto para los beneficios como para los costos de los recursos desplazados. Los resultados numéricos de estos recursos desplazados se puede apreciar en el cuadro No 6.9

**6.2.3.3 Costos Nacionales Totales:**

Están dados por la sumatoria de los costos de los recursos asignados y

de los costos de los recursos desplazados.

6.2.4 Los indicadores Beneficio-Costo:

Los indicadores de la evaluación Técnico-Económico de la Central Hidroeléctrica Limbani son los siguientes:

| Potencia (kW.)               | 500     |        |          |         |
|------------------------------|---------|--------|----------|---------|
| Costo de Construcción        | Total   |        | Unitario |         |
| - Precios de Mercado (\$USA) | 577,171 |        | 1,154    |         |
| - Precios Sombra (\$USA)     | 511,544 |        | 1,023    |         |
| Análisis Beneficio-Costo     | 8 %     | 10 %   | 12 %     | 15 %    |
| - Valor Actual Neto (\$USA)  | 139,959 | 16,529 | -50,272  | -86,637 |
| - Relación Beneficio/Costo   | 1.37    | 1.04   | 0.86     | 0.76    |
| - Tasa Interna de Retorno    | 10.64 % |        |          |         |

6.2.5 Análisis de Sensibilidad:

Este análisis permite precisar el comportamiento económico del proyecto frente a la variación de algunas de sus variables.

Como puede observarse del cuadro anterior el proyecto muestra un valor actualizado y una relación B/C muy bajo, lo que está indicando que los costos actualizados son muy elevados frente a los beneficios, entre estos costos tiene preponderancia las inversiones, en este caso se puede ver a priori que dichos valores deberían ser muy inferiores a los planteados, cosa que no es factible que suceda en un proyecto, como son las centrales hidráulicas, motivo por el cual, se ha estimado no continuar en mayores análisis de sensibilidad, ya que sus resultados serían puramente matemáticos, sin ninguna trascendencia práctica.

CUADRO No 6.1

DEMANDA DE POTENCIA Y VENTA DE ENERGIA

| Año  | M.D.<br>(kW.) | ENERGIA ELÉCTRICA (kWh) |            |           |
|------|---------------|-------------------------|------------|-----------|
|      |               | DEMANDADA               | PRODUCCIDA | VENDIDA   |
| 1988 | 146           | 302,015                 | 335,620    | 302,015   |
| 1989 | 160           | 335,652                 | 372,947    | 335,652   |
| 1990 | 177           | 374,477                 | 416,409    | 374,477   |
| 1991 | 191           | 411,144                 | 456,827    | 411,144   |
| 1992 | 212           | 461,389                 | 512,655    | 461,389   |
| 1993 | 230           | 507,191                 | 563,477    | 507,191   |
| 1994 | 247           | 550,815                 | 612,017    | 550,815   |
| 1995 | 263           | 593,972                 | 659,969    | 593,972   |
| 1996 | 279           | 637,720                 | 708,578    | 637,720   |
| 1997 | 295           | 684,418                 | 760,465    | 684,418   |
| 1998 | 313           | 732,820                 | 813,785    | 732,820   |
| 1999 | 331           | 783,332                 | 870,369    | 783,332   |
| 2000 | 344           | 823,685                 | 915,206    | 823,685   |
| 2001 | 354           | 861,178                 | 956,865    | 861,178   |
| 2002 | 368           | 905,784                 | 1'006,427  | 905,784   |
| 2003 | 379           | 946,563                 | 1'052,008  | 946,563   |
| 2004 | 394           | 995,968                 | 1'106,631  | 995,968   |
| 2005 | 408           | 1'043,165               | 1'159,072  | 1'043,165 |
| 2006 | 419           | 1'088,581               | 1'209,535  | 1'088,581 |
| 2007 | 430           | 1'129,160               | 1'254,622  | 1'129,160 |
| 2008 | 445           | 1'179,361               | 1'311,608  | 1'179,361 |
| 2009 | 457           | 1'227,069               | 1'363,410  | 1'227,069 |
| 2010 | 462           | 1'273,529               | 1'415,032  | 1'273,529 |
| 2011 | 481           | 1'323,046               | 1'470,051  | 1'323,046 |
| 2012 | 495           | 1'375,078               | 1'530,201  | 1'375,078 |

CUADRO No 6.2

ENERGIA A SUSTITUIR CON EL PROYECTO Y DETERMINACION  
DEL PRECIO DE LA ENERGIA SUSTITUIBLE

| FUENTE DE GENERACION | UNIDAD DE MEDIDA | CONSUMO TOTAL ANUAL | EQUIV. CONS. TOTAL DE ENERGIA (KWH/año) | COSTO TOTAL ANUAL DE LA ENERGIA (\$ USA) | PESO RELAT. DE LA ENERGIA (kwh/año) | PRECIO DE LA ENERGIA (\$USA/kwh) |           |
|----------------------|------------------|---------------------|---|--|-------------------------------------|----------------------------------|-----------|
|                      |                  |                     |   |  |                                     | PROMED.                          | PONDERADO |
| Luz                  | Galones          | 6,048               | 40,098.2                                | 4,190.3                                  | 0.2460                              | 0.1045                           | 0.0257    |
| KEROSENE<br>Cocina   | Galones          | 18,144(+)           | 120,294.7                               | 12,570.8                                 | 0.7381                              | 0.1045                           | 0.0771    |
| PILAS                | Unidad           | 6,048               | 42.4                                    | 1,747.1                                  | 0.0003                              | 41.2056                          | 0.0107    |
| VELAS                | Unidad           | 90,720              | 2,539.9                                 | 10,475.8                                 | 0.0156                              | 4.1245                           | 0.0643    |
| TOTAL (&)            | -                | -                   | 162,975.2                               | 28,984.0                                 | 1.0000                              | -                                | 0.1778    |

(&) A julio de 1986 : 1260 familias

(+) Representa el 25 % de 72,576 (Consumo Real)

CUADRO No 6.3

RESUMEN DE LOS INGRESOS POR VENTA DE ENERGIA Y DEL CONSUMIDOR

| DESCRIPCION  | SIGNATURA                         | AÑOS   |        |        |        |         |         |
|--|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
|  |                                   | 1988   | 1993   | 1998   | 2003   | 2008    | 2012    |
| Tarifa del Proyecto (\$USA/kWh)                                    | P <sub>2</sub>                    | 0.03   | 0.03   | 0.03   | 0.03   | 0.03    | 0.03    |
| Costo Actual de la Energía a Sustituir (\$USA/kWh)                 | P <sub>1</sub>                    | 0.1778 | 0.1778 | 0.1778 | 0.1778 | 0.1778  | 0.1778  |
| Energía a sustituir con el Proyecto (kWh)                          | q <sub>1</sub>                    | 162975 | 162975 | 162975 | 162975 | 162975  | 162975  |
| Consumo de Energía con el Proyecto (kWh)                           | q <sub>2</sub>                    | 302015 | 507191 | 732820 | 946563 | 1179361 | 1375078 |
| Ingresos por venta de Energía (B) (\$USA)                          | P <sub>2</sub> x q <sub>2</sub>   | 9060   | 15216  | 21985  | 28397  | 35381   | 41252   |
| Excedente del Consumidor (A) (\$USA)                               | $\frac{q_1 + q_2}{2} (P_1 - P_2)$ | 34363  | 53685  | 66199  | 81995  | 99198   | 113662  |
| Relación: Excedente del Consumidor/ Ingresos por venta de Energía. | A/B                               | 3.79   | 3.52   | 3.01   | 2.89   | 2.82    | 2.75    |

CUADRO No 6.4

COSTOS DE INVERSION A PRECIOS DE MERCADO  
(\$USA)

| DESCRIPCION                           | OBRAS CIVILES | TUBERIA FORZADA | OBRAS ELECTRICAS | OBRAS MECANICAS | DIREC. TECNICA ADMINISTRACION | IMPRESIONES | TOTAL  |
|---------------------------------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------|--------|
| Mano de Obra:                         | 30559         | 24515           | 14201            | 40455           | 45712                         | 9235        | 164677 |
| - Calificada                          | 9168          | 17160           | 9941             | 28318           | 45712                         | 7018        | 117317 |
| - No Calificada                       | 21391         | 7355            | 4260             | 12137           | -                             | 2217        | 47360  |
| Bienes Transables Internacionales:    | 25466         | 71316           | 41313            | 117687          | 9697                          | 30475       | 295958 |
| - Materiales y Equipo Importado.      | -             | 60619           | 35116            | 100034          | -                             | 24075       | 219844 |
| - Material y Equipo Nacional          | 25466         | 10697           | 6197             | 17653           | 9697                          | 6400        | 76114  |
| Bienes No Transables Internacionales: | 45839         | 15600           | 9937             | 25744           | 13852                         | 6464        | 116536 |
| - Transporte Interno                  | 9626          | 10920           | 6326             | 18021           | 9281                          | 2779        | 56953  |
| - Materiales Locales                  | 30254         | -               | -                | -               | 1801                          | 2327        | 34382  |
| - Otros Gastos Locales                | 5959          | 4680            | 2711             | 7723            | 2770                          | 1358        | 25201  |
| TOTAL :                               | 101866        | 111432          | 64552            | 183886          | 69260                         | 46174       | 577171 |

CUADRO No 6.5

COSTOS DE INVERSION A PRECIOS SOMBRAS  
(\$USA)

| DESCRIPCION                           | OBRAS CIVILES | TUBERIA FORZADA | OBRAS ELECTRICAS | OBRAS MECANICAS | DIRC. TECNICA ADMINISTRACION | IMPRESIONES | TOTAL   |
|---------------------------------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------------------|-------------|---------|
| Mano de Obra:                         | 17,724        | 20,102          | 11,645           | 33,173          | 45,712                       | 7,905       | 136,261 |
| - Calificada                          | 9,168         | 17,160          | 9,941            | 28,318          | 45,712                       | 7,018       | 117,317 |
| - No calificada                       | 8,556         | 2,942           | 1,704            | 4,855           | -                            | 887         | 18,944  |
| Bienes Transables Internacionales:    | 20,373        | 63,115          | 36,562           | 104,153         | 7,757                        | 26,787      | 258,747 |
| - Materiales y Equipo Importado.      | -             | 54,557          | 31,604           | 90,031          | -                            | 21,667      | 197,859 |
| - Material y Equipo Nacional          | 20,373        | 8,558           | 4,958            | 14,122          | 7,757                        | 5,120       | 60,888  |
| Bienes No transables Internacionales: | 45,839        | 15,600          | 9,037            | 25,744          | 13,852                       | 6,464       | 116,536 |
| - Transporte Interno                  | 9,626         | 10,920          | 6,326            | 18,021          | 9,281                        | 2,779       | 56,953  |
| - Materiales Locales                  | 30,254        | -               | -                | -               | 1,801                        | 2,327       | 34,382  |
| - Otros Gastos Locales                | 5,959         | 4,680           | 2,711            | 7,723           | 2,770                        | 1,358       | 25,201  |
| TOTAL :                               | 83,936        | 98,817          | 57,244           | 163,070         | 67,321                       | 41,156      | 511,544 |



**CUADRO No 6.6**

**COSTOS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO**

**(\$ USA)**

| <b>DESCRIPCION</b>                 | <b>A PRECIOS DE MERCADO</b> | <b>A PRECIOS SOMBRA</b> |
|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| <b>Mano de Obra Calificada</b>     | <b>8,051</b>                | <b>8,051</b>            |
| <b>Mano de Obra no Calificada</b>  | <b>9,599</b>                | <b>3,856</b>            |
| <b>Material y Equipo Importado</b> | <b>6,504</b>                | <b>5,854</b>            |
| <b>Material y Equipo Nacional</b>  | <b>2,167</b>                | <b>1,734</b>            |
| <b>Transporte Interno</b>          | <b>3,716</b>                | <b>3,716</b>            |
| <b>Materiales Locales</b>          | <b>930</b>                  | <b>930</b>              |
| <b>Otros Gastos Locales</b>        | <b>-</b>                    | <b>-</b>                |
| <b>TOTAL :</b>                     | <b>30,967</b>               | <b>24,141</b>           |

**CUADRO No 6.7**  
**CRONOGRAMA DE INVERSIONES**  
**A PRECIOS DE MERCADO**  
**(\$ USA)**

| DESCRIPCION                            | I ETAPA        |                | II ETAPA       | TOTAL          |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
|  | 1986           | 1987           | 1993           |                |
| Obras Civiles                          | 40,786         | 61,080         | -              | 101,866        |
| Tubería Forzada                        | 66,859         | 44,573         | -              | 111,432        |
| Obras Eléctricas                       | 22,046         | 22,046         | 20,460         | 64,552         |
| Obras Mecánicas                        | 45,972         | 45,972         | 91,943         | 183,886        |
| Dirección Técnica, Adminis-<br>tración | 13,852         | 24,241         | 31,167         | 69,260         |
| Imprevistos                            | 9,235          | 16,170         | 20,769         | 46,174         |
| <b>Total Costos de Construcción</b>    | <b>198,750</b> | <b>214,750</b> | <b>164,339</b> | <b>577,171</b> |

CUADRO No 6.8

CRONOGRAMA DE INVERSIONES

A PRECIOS SOMBRA

(\$ USA)

| DESCRIPCION                            | I ETAPA        |                | II ETAPA       | TOTAL          |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
|  | 1986           | 1987           | 1993           |                |
| Obras Civiles                          | 33,607         | 50,329         | -              | 83,936         |
| Tubería Forzada                        | 59,290         | 39,527         | -              | 98,817         |
| Obras Eléctricas                       | 19,550         | 19,550         | 18,144         | 57,244         |
| Obras Mecánicas                        | 40,767         | 40,767         | 81,537         | 163,070        |
| Dirección Técnica, Adminis-<br>tración | 13,464         | 23,562         | 30,295         | 67,321         |
| Imprevistos                            | 8,231          | 14,405         | 18,520         | 41,156         |
| <b>Total Costos de Construcción</b>    | <b>174,909</b> | <b>188,139</b> | <b>148,496</b> | <b>511,544</b> |

### 6.3 COMPARACION CON LA ALTERNATIVA TERMICA:

Con la finalidad de verificar la conveniencia económica de la alternativa hidráulica desarrollada, esta será comparada con una solución térmica equivalente. El método utilizado para tal fin consiste en hallar un indicador semejante al de la relación beneficio/costo, el cual tendrá como numerador (beneficios), el valor actualizado de todos los egresos que conlleva la construcción de la planta térmica equivalente y como denominador (costos), todos los egresos actualizados referentes a la alternativa hidráulica desarrollada. Un valor numérico mayor o menor que la unidad, indicará la conveniencia o no de la Central Hidroeléctrica sobre la Central Térmica equivalente.

Se ha utilizado tasas de descuento del 8, 10, 12 y 15 %; rango en el que se estima estén comprendidos los valores del costo de capital de la Empresa y la tasa social de descuento.

Los costos de Operación y Mantenimiento para la central hidroeléctrica, ha sido calculado en el acápite (6.2.3.1), estos costos asignados se muestran en el cuadro No 6.10 , junto con las inversiones para la construcción de la central.

La central Térmica será implementada de la siguiente manera: 1987 un grupo de 250 kW, en 1993 un grupo de 250 kW, en 1998 un grupo de 250 kW en reemplazo del primero y en 2003 otro grupo de 250 kW en reemplazo del segundo. Los grupos generadores serán térmicos del tipo rápido (1800 RPM) y de admisión natural, por lo que en la determinación de su potencia efectiva se ha considerado la caída de sus eficiencias por efecto de la altitud.

Los costos directos de la alternativa térmica, re-

presenta las inversiones necesarias para la compra de estos grupos térmicos y para la construcción de la casa de maquinas(año 1987), los montos han sido estimados de obras similares ejecutadas en el departamento de Puno.

Para el cálculo de los costos en combustible; se ha considerado que un grupo térmico de 250 kW tiene un consumo específico de 290 grs/kWh, los mismos que a 1986(julio) el costo específico fué 0.1087 \$USA/kWh entonces el costo en combustible anual será la multiplicación de este factor por la energía producida mostradas en el cuadro No 6.1.

Los costos por consumo de lubricantes han sido estimados como el 4% de los costos por combustibles.

Por otro lado, el rubro "Remuneraciones, gastos generales y seguros", se estima que sea un 6% del costo directo(§) y la vida útil de los grupos térmicos se ha determinado que está entre los 10 a 15 años.

Los costos asignados para la alternativa térmica que incluye las inversiones se muestran en el cuadro No 6.11 .

En el cuadro No 6.12 se muestran los valores presentes de los costos de ambas alternativas, asimismo la relación de los costos de la alternativa térmica con la hidráulica.

---

(§) Valor usado en proyectos similares en ELECTRO-PERU S. A.

CUADRO No 6.10  
ALTERNATIVA HIDRAULICA  
FLUJO DE COSTOS  
(\$ USA)

| AÑOS | INVERSION | GASTOS OPERATIVOS | TOTAL COSTOS |
|------|-----------|-------------------|--------------|
| 1986 | 174,909   | --                | 174,909      |
| 1987 | 188,139   | --                | 188,139      |
| 1988 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 1989 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 1990 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 1991 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 1992 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 1993 | 148,496   | 21,141            | 169,637      |
| 1994 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 1995 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 1996 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 1997 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 1998 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 1999 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 2000 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 2001 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 2002 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 2003 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 2004 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 2005 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 2006 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 2007 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 2008 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 2009 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 2010 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 2011 | --        | 21,141            | 21,141       |
| 2012 | --        | 21,141            | 21,141       |

CUADRO No 6.11

ALTERNATIVA TERMICA EQUIVALENTE  
(\$ USA)

| AÑOS | INVERSION | GASTOS OPERATIVOS |               |                             | TOTAL<br>GASTOS |
|------|-----------|-------------------|---------------|-----------------------------|-----------------|
|      |           | Combustibles      | Lubrificantes | Remuner. +<br>Gastos Gerls. |                 |
| 1987 | 139,500   | --                | --            | --                          | 139,500         |
| 1988 | --        | 36,498            | 1,460         | 14,238                      | 52,196          |
| 1989 | --        | 40,539            | 1,621         | 14,238                      | 56,398          |
| 1990 | --        | 45,263            | 1,810         | 14,238                      | 61,311          |
| 1991 | --        | 49,657            | 1,986         | 14,238                      | 65,881          |
| 1992 | --        | 55,725            | 2,229         | 14,238                      | 72,192          |
| 1993 | 97,800    | 61,250            | 2,449         | 14,238                      | 175,738         |
| 1994 | --        | 66,526            | 2,661         | 14,238                      | 83,425          |
| 1995 | --        | 71,738            | 2,869         | 14,238                      | 88,845          |
| 1996 | --        | 77,022            | 3,080         | 14,238                      | 94,341          |
| 1997 | --        | 82,662            | 3,306         | 14,238                      | 100,206         |
| 1998 | 97,800    | 88,458            | 3,538         | 14,238                      | 204,034         |
| 1999 | --        | 94,609            | 3,784         | 14,238                      | 112,631         |
| 2000 | --        | 99,483            | 3,979         | 14,238                      | 117,700         |
| 2001 | --        | 104,011           | 4,160         | 14,238                      | 122,409         |
| 2002 | --        | 109,398           | 4,375         | 14,238                      | 128,011         |
| 2003 | 97,800    | 114,353           | 4,574         | 14,238                      | 230,965         |
| 2004 | --        | 120,268           | 4,811         | 14,238                      | 139,316         |
| 2005 | --        | 125,991           | 5,039         | 14,238                      | 145,268         |
| 2006 | --        | 131,476           | 5,259         | 14,238                      | 150,973         |
| 2007 | --        | 136,377           | 5,455         | 14,238                      | 156,070         |
| 2008 | --        | 142,572           | 5,708         | 14,238                      | 162,513         |
| 2009 | --        | 148,203           | 5,928         | 14,238                      | 168,369         |
| 2010 | --        | 153,813           | 6,152         | 14,238                      | 174,203         |
| 2011 | --        | 159,794           | 6,392         | 14,238                      | 180,423         |
| 2012 | --        | 166,333           | 6,653         | 14,238                      | 187,224         |

CUADRO No 6.12

INDICADORES DE COMPARACION DE LAS ALTERNATIVAS  
HIDRAULICA Y TERMICA

| ALTERNATIVAS<br>INDICADORES                                      | TASA<br>(%) | PROYECTO<br>HIDROELECTRICO | PROYECTO<br>TERMICO |
|--|-------------|----------------------------|---------------------|
| - Valor Presente de los<br>Costos (\$ USA)                       | 8           | 640,517                    | 1'203,321           |
|  | 10          | 596,599                    | 986,778             |
|  | 12          | 546,112                    | 825,645             |
|  | 15          | 523,678                    | 653,353             |
| - Relación de los costos<br>Térmico con la Hidráulica<br>(CT/CH) | 8           | 1.878                      |                     |
|  | 10          | 1.654                      |                     |
|  | 12          | 1.512                      |                     |
|  | 15          | 1.247                      |                     |



VII  
ESPECIFICACIONES TECNICAS

7.1 ESPECIFICACIONES PARA INGENIERIA CIVIL - MATERIALES  
Y CONSTRUCCION:

7.1.1 Generalidades:

Objetivo:

El objetivo de este documento es definir la calidad de los materiales y del trabajo a ser empleado en la construcción de las obras civiles de la Central Hidroeléctrica Limbani-Phara provincia de Sandia, Puno.

Especificaciones y Normas Complementarias:

Para lo no especificado, valdrán generalmente las normas y requerimientos del ACI (American Concrete Institute), del CISBR (CIS Bureau of Reclamation), de la ASTM (American Society for Testing and Materials) y el DIN, así mismo lo especificado en el Reglamento Nacional de Construcciones del Perú (RNC).

7.1.2 Obras Preliminares:

Alcance:

Construir e instalar las obras temporales necesarios para la construcción de las obras civiles permanentes que se refieran al proyecto.

Instalaciones Provisionales:

Consiste en todas aquellas instalaciones de carácter transitorio requeridas para la ejecución

ón de los trabajos, considerando además, suministro, mantenimiento y operación de las mismas

Suministro de agua:

Se refiere a la construcción de captaciones de agua requeridas para la obra (Distribución a las instalaciones provisionales, equipos y zonas de trabajo que lo requieran).

Campamentos:

Se deberán construir campamento provistos de lo mínimo necesario indispensable para su habitabilidad por el personal de campo requerido para la ejecución de los trabajos.

7.1.3 Desbroce y Limpieza:

Alcance:

El ejecutor de la obra deberá despejar, desraizar y limpiar las áreas de construcción.

-Para obras temporales, provisionales y permanentes.

-Para accesos temporales y definitivos.

-Áreas de obtención de materiales.

Desbroce:

Se deberá realizar la tala de árboles, remoción, transporte y eliminación de todos los despojos objetables en un área suficiente que permita la buena ejecución de los trabajos.

Limpieza:

Se deberá realizar la remoción, transporte, eliminación de todo material orgánico, vegetal, basura, despojos hasta una profundidad promedio que permita la buena ejecución de las obras provisionales y permanentes.

7.1.4 Excavaciones:

Alcance:

De acuerdo a lo indicado en los planos y den-

tro de los límites definidos por los niveles y rasantes, se incluirán operaciones de perforación voladuras, excavación, carga, transporte y eliminación.

Tipo de Materiales:

Según su clasificación:

- (a) Material suelto: Se podrá ejecutar a mano o mecánicamente y comprende bloques de roca piedras sueltas, materiales duros o compactos tales como conglomerados, rocas blandas o desintegradas, arcillas y arenas,
- (b) Roca: Se considera a todas aquellas que sobrepasan un volumen unitario mayor de  $0,75 \text{ m}^3$  y cuya consistencia estructural requiere el uso de explosivos para su remoción.

Métodos de Excavación:

La excavación deberá ejecutarse con cualquier equipo, método de excavación o transporte adecuado para este tipo de trabajo. Se tendrá en cuenta el programa de las obras y los tipos de materiales al evaluar los métodos de excavación.

7.1.5 Concreto:

Alcance:

- (a) Suministrar todos los materiales y equipos para fabricar, colocar, acabar, proteger y curar el concreto.
- (b) Construir, montar y dismantelar los encofrados y andamios.
- (c) Suministrar y colocar los materiales para las juntas de dilatación, contracción, impermeabilización y construcción.
- (d) Suministrar y colocar el acero de refuerzo, los estribos, etc.
- (e) Proveer los medios necesarios a fin de controlar el vaciado del concreto.
- (f) Proveer todas las facilidades para la ob-

tención de las muestras requeridas y sus pruebas.

Composición:

El concreto se compondrá de cemento Portland, agua agregado fino, agregado y/o aditivos. La dosificación de la mezcla del concreto, tendrá por objeto asegurar un concreto plástico, trabajable y apropiado para las condiciones especificadas de la colocación, y con un adecuado poder de resistencia y durabilidad.

Cemento:

Normalmente el cemento será Portland tipo I de acuerdo a la norma C150 de la ASTM.

Agua:

Se realizará pruebas de muestras representativas de agua de río o subterránea para asegurar un concreto de durabilidad en las obras. El agua empleada en la mezcla y curado del concreto deberá ser en lo posible limpia y fría, y no deberá contener residuos de aceite ácidos, alcalis, sales, limo, materias orgánicas u otras sustancias dañinas.

Agregados:

Los agregados finos y gruesos se producirán de materiales adecuados obtenidos de canteras apropiadas que reúnan las condiciones satisfactorias para su uso.

Los agregados finos y gruesos deberán constituirse de arena y grava natural o de roca triturada y deberán ser fragmentos limpios, duros, densos y durables de roca no recubierta.

Encofrados:

Todos los encofrados deberán ser ubicados y adheridos de tal manera que contengan rígidamen

te el concreto fresco en su posición concreta sin desviación excesiva durante el vaciado, compactación y curado del concreto.

Se deberá lubricar el encofrado con un agente revelador a fin de permitir un fácil desencofrado, y deberá de aplicarse estrictamente de acuerdo con las instrucciones del fabricante y no deberá estar en contacto con refuerzos u otros elementos empotrados.

Para el curado del concreto será protegido contra daños producidos por efectos del clima y se mantendrá por encima de los  $10^{\circ}\text{C}$  y en condición húmeda por lo menos durante los 7 días después de ser vaciado.

No se deberá permitir que suba la temperatura de cualquier parte de la estructura de concreto mas arriba de  $20^{\circ}\text{C}$  de la temperatura ambiente, durante el periodo del curado. Todo borde en concreto expuesto será achaflanado.

#### Refuerzo de Acero:

Se deberá detallar, suministrar, cortar, doblar y colocar todas las armaduras de acero incluidas: varillas, mallas de alambre soldados, estribos para trabas y barras o ganchos de anclaje, según como se requiera. Todas las armaduras deberán estar libres de escamas oxidadas o cualquier otro revestimiento que pueda destruir o reducir su adherencia al concreto.

#### Cimientos

Los cimientos para la bocatoma, desarenador, cámara de carga, anclajes, etc. Serán de concreto ciclópeo de  $140 \text{ Kg/cm}^2$  cuyo mortero por  $\text{m}^3$  es el siguiente:

| Materiales  | Cantidad | Unidad         |
|-------------|----------|----------------|
| Cemento     | 7.57     | bolsas         |
| Arena       | 0.47     | m <sup>3</sup> |
| Piedra 1/2" | 0.93     | m <sup>3</sup> |
| Agua        | 0.18     | m <sup>3</sup> |

Los muros laterales de la bocatoma, desarenador, cámara de carga, canal de conducción se construirán de concreto ciclópeo de 210 Kg/cm<sup>2</sup>. Cuyo mortero por m<sup>3</sup> es:

| Materiales  | Cantidad | Unidad         |
|-------------|----------|----------------|
| Cemento     | 9.74     | bolsa          |
| Arena       | 0.42     | m <sup>3</sup> |
| Piedra 1/2" | 0.85     | m <sup>3</sup> |
| Agua        | 0.18     | m <sup>3</sup> |

Los cimientos de la casa de fuerza serán cemento-hormigón 1:8 con 25 de piedra mediana.

Los pisos en el exterior de la central serán de ripio con piedras de hasta 3/4" Ø.

#### 7.1.6 Obras de Manposteria

##### Materiales:

Los materiales que se emplean en la obra deberán ser de primera calidad y someterse a ensayos de materiales cuando lo considere necesario el supervisor.

No se utilizará en absoluto en la obra materiales usados o que puedan haber perdido sus propiedades desde su fabricación salvo indicación expresa consignada en las presentes normas y especificaciones.

Los materiales usado serán: Cemento Portland, Cal hidratada, Arena, Agua, Aditivos, Mortero, ladrillos, etc.

### Construcción

Las mamposterías de ladrillos caravista, se harán con ladrillos de la mejor calidad, debiendo tener cuidado con el plomo y la nivelación de las hiladas.

En general las juntas de asentamiento y las juntas verticales serán de 10mm a 15 mm. Las juntas serán tomadas y encajadas con mortero 1:4 (cemento y arena). La trama de los ladrillos será perfecta y uniforme.

### Revoques:

Los revoques se aplicarán como protección contra la humedad de paredes y pisos. Aplicados sobre las paredes, servirán también de acabado arquitectónico.

Se clasifican en:

- Revoques visibles de paredes exteriores.
- Revoques de paredes exteriores.

El revoque será aplicado 30 días después de terminadas las superficies de concreto o de mampostería las que deberán ser sólidas limpias y homogéneas. La superficie se humedecerá antes de su revoque.

## 7.2 ESPECIFICACION PARA LA FABRICACION Y EL MONTAJE DE LA TUBERIA DE PRESION

### 7.2.1 Generalidades

#### Alcance:

Esta sección da la especificación que cubre los mínimos requisitos para el diseño de detalles fabricación, inspección, pruebas y pintado de la tubería.

Documentos de diseño:

Esta sección de la especificación se leerá en los pertinentes planos del diseño básico de Ingeniería que detallan la planta y secciones de la tubería, bloques de anclaje, juntas de dilatación y detalles de soportes, etc.

7.2.2 Condiciones de operación

Presiones:

Presión normal de operación que incluye la caída estática mas carga por golpe de ariete de operación normal que estará limitado a 30% de la caída estática por un mecanismo de control de la turbina.

Temperaturas:

Temperaturas de operación pueden variar entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $30^{\circ}\text{C}$ .

Condiciones del fluido:

El fluido en las tuberías es agua cruda, conteniendo elementos abrasivos y con una velocidad máxima de flujo de 5 metros por segundo.

Condiciones Antisísmicas:

Las tuberías serán ubicadas en un área a condiciones antisísmicas.

7.2.3 Información sobre diseño y detalles de fabricación:

Generalidades:

La tubería de presión será soldada en forma continua a excepción en las juntas de dilatación, los mayores anclajes estarán en la cámara de carga y en la casa de máquinas (Tubería forzada "Hiperestática"). Esta alternativa es



es la mejor para los sitios donde las condiciones de los cimientos son pobres para las instalaciones de los bloques de anclaje.

Normas:

El grosor de la tubería, todos los detalles de fabricación, materiales y otros aspectos de la tubería deberán cumplir con los requisitos pertinentes del ASME Boiler and Pressure Vessel Code, a menos que se estipule lo contrario en estas especificaciones.

Espesor mínimo:

El espesor mínimo de la sección de la tubería no será menor que el espesor requerido de acuerdo con los cálculos, el que contemplará el desgaste de las paredes por corrosión.

Longitud de fabricación:

La longitud total requerida de la tubería es la que se muestra en los planos del diseño de ingeniería básica. Esta será fabricada en partes, el largo de cada parte a menos que se especifique en los planos, será determinado por las siguientes condiciones:

- (a) La capacidad de manejo en los talleres o lugar de trabajo.
- (b) El largo y peso de cada parte o sección.
- (c) La facilidad de transporte y acceso en las obras.

Juntas de Soldadura:

- (a) Soldaduras Longitudinales.- Todas las juntas de soldaduras longitudinales serán soldados en los talleres y serán completamente radiografiadas. Las juntas de soldaduras serán a tope dos veces.

(b) Soldaduras Circunferenciales.-Las juntas de soldadura circunferenciales o periféricas podrán ser soldadas en los talleres o en el lugar de la obra, será parcialmente radiografiada o será totalmente examinada con pruebas de ultrasonido.

Bifurcaciones/tuberías de distribución:

Bifurcaciones/Tuberías de distribución serán fabricados de tal modo que sean compatibles con los detalles mostrados en los de disposición.

7.2.4 Materiales de construcción

Los materiales a ser usados para la tubería de presión y sus accesorios serán los apropiados para la propuesta aplicación.

En general los materiales serán seleccionados según lo apropiado, de una o más de las siguientes especificaciones:

Tuberías, bridas y pernos:

(a) Tuberías fabricados con planchas

|  |  |
|--|--|
| ASTM A283 GR C hasta 16 mm<br>de espesor             | } para servicio<br>de temperatu-<br>ra normal. |
| ASTM A285 GR C                                       |  |
| ASTM A515 GR 55 & 60                                 |  |
| ASTM A516 GR 55 & 60 Ltdo 15<br>DIN 17135 GR A St 35 | } para servicio<br>de Temp. Meno-<br>res       |

(b) Materiales para bridas:

Forjadura ASTM A181 GRI

Plancha ASTM A518 GR 55 & 50

(c) Material para empernado:

ASTM A193 GRB 7

Pernos ASTM A194 GR 2H

Certificado de pruebas:

Se deberá proveer certificados de pruebas de materiales indicando cumplimiento de los requisitos especificados.

7.2.5 Fabricación y tolerancias

Antes del inicio de cualquier fabricación se deberá someter a un trabajo completo de cálculos, procedimientos de soldado y planos completamente acotados mostrando los detalles de la tubería de presión y la siguiente información:

- (a) Especificación(es) que los materiales de construcción deberán cumplir.
- (b) Procedimientos para el soldado y que serán aplicados en todas las secciones o partes de la tubería de presión.
- (c) Detalles de dimensiones a gran escala de las preparaciones para el soldado de juntas (uniones) longitudinales y periféricas detalles de las juntas de dilatación, orificios para inspección, plataformas de apoyo, etc. y la posición de las juntas y otras aberturas.
- (d) Procedimiento de tratamiento con calor.
- (e) Requisitos para pruebas no destructivas.
- (f) Requisitos para planchas de prueba.
- (g) Métodos de pruebas y presiones.

Soldado:

Todo soldado, pruebas de calificación para procesos de soldado y operaciones de soldado deberán estar de acuerdo con los requisitos del Código de Recipiente a Presión y Hervidor ASME, Sección IX.

7.2.6 Inspección y pruebas:

El ejecutor será responsable de la inspección y pruebas necesarios para el control de calidad de la fabricación. Esto incluirá supervisiones de control para asegurar que la calidad de los materiales, fabricación, preparación de los bordes, forma, ensamblaje, soldado, etc. estén de acuerdo con esta especificación, con los planos y con los procedimientos de soldado que hayan sido aprobados para su construcción.

7.2.7 Prueba Hidrostática:

- (a) Al término satisfactorio del soldado, radiografiado, pruebas indestructivas, montaje de acoplamientos flexibles, etc. la tubería de presión será limpiada de desperdicios con chorros de agua limpia.
- (b) La tubería será llenada lentamente con agua limpia, y todo el aire atrapado será ventilado antes de proceder con la aplicación de la prueba hidrostática.
- (c) La presión para la prueba hidrostática será mantenida durante un periodo de tiempo suficiente para permitir la inspección detallada de todas las juntas de soldadura, y las juntas de dilatación que deberán estar libres de goteo y otros defectos.

7.2.8 Pintado y Protección Anticorrosiva:

Al completar satisfactoriamente la fabricación en el taller, radiografiado, pruebas e inspección, se preparará y aplicará el sistema aprobado de pintado a todas las superficies de los componentes de la tubería, antes del envío a

obra.

El preparado y protección de capas se hará de acuerdo a Normas Americanas de Pinturas SSPC-SP:1:2:3:5:6:10 .

#### 7.2.9 Preparación y Embarque a Obra:

##### Arriostramiento Interior:

Antes de su envío, todas las secciones de la tubería de presión, bifurcaciones/tuberías de distribución, deberán ser convenientemente apuntaladas internamente para prevenir distorsiones, estos apuntalamientos no se deberán soldar al trabajo en metal de la tubería.

##### Prevención de Daños a las Pinturas Protectivas

Para prevenir o minimizar el daño de las capas de protección aplicadas en los talleres:

- (a) El equipo de isaje, tiradores/asas, etc. serán forrados o conóstruidos con materiales convenientes.
- (b) Las secciones de la tubería serán, provistas de adecuados soportes, hechos con material adecuado, curvados y alisados con caucho de modo que concuerde con el radio externo de la tubería.

##### Soportes en Obra:

Se proveerá los soportes curvos de la tubería requeridos para el almacenamiento en obra de las secciones correspondientes.

En general la tubería de presión cumplirá con las siguientes especificaciones:

- (d) Montaje y prueba del equipo mecánico provisto por ELECTROPERU
- (e) Proveer mano de obra para asistir en la puesta en operación de los trabajos eléctricos y mecánicos.
- (f) Pintado del equipo eléctrico y mecánico donde sea necesario, de acuerdo con las especificaciones correspondientes.

Con la excepción del equipo provisto por ELECTROPERU, el Contratista suministrará todo el equipo y material requeridos para la obra. El contratista debera proveer, administrar y supervisar la mano de obra necesaria y el equipo para la satisfactoria ejecución de los trabajos que y realizará bajo la supervisión general del Supervisor.

En el caso del montaje y prueba del equipo provisto por ELECTROPERU, el trabajo se realizará en presencia del Supervisor. No se procederá con ningun trabajo en ausencia de este.

Todos los trabajos se realizarán de acuerdo con los planos y especificaciones del Diseño Basico normas internacionales y nacionales e instrucciones suministradas por el fabricante.

Es responsabilidad del Contratista el asegurar que esta trabajando con la última revisión de los planos entregados a él. Cualquier cambio o alteración de los planos se hará de acuerdo con el Supervisor.

El contratista será responsable por el adecuado transporte a obra y, almacenamiento de todo el equipo y materiales provistos por él y por ELECTROPERU. Cualquier pérdida o daño será re-

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Material utilizado.            | : Acero estructural<br>ASTM A283-GR C 6<br>equivalente. |
| Límite de fluencia.            | : 21 kg/mm <sup>2</sup>                                 |
| Esfuerzo de diseño o admisible | : 14 kg/mm <sup>2</sup>                                 |
| Peso específico del material.  | : 7,85 kg/cm <sup>3</sup>                               |
| Modulo de Elasticidad.         | : 2 X 10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>                |
| Diámetro de la tubería.        | : 600 mm.   |
| Espesor de la tubería.         | : 6,35 mm. (1/4 ")                                      |

### 7.3 ESPECIFICACIONES PARA EL SUMINISTRO MONTAJE E INSTALACION DEL EQUIPO ELECTRICO Y MECANICO:

#### 7.3.1 Generalidades:

Estas especificaciones cubren el contrato de instalación y montaje de las maquinarias y equipos eléctricos y mecánicos provistos por ELECTROPERU, así como el suministro e instalación del resto de equipos y materiales necesarios para la ejecución total de la central. El alcance de los trabajos es el siguiente:

- (a) Carga de todas las maquinarias y equipos provistos por ELECTROPERU desde aduana del Callao o desde los fabricantes y su transporte a la obra; descarga y almacenamiento de los mismos en lugar protegido.
- (b) Diseño detallado, suministro, transporte a la obra, instalación y puesta en operación del sistema de distribución auxiliar e iluminación.
- (c) Montaje y prueba del equipo eléctrico provisto por ELECTROPERU.

parado o reemplazado a cuenta del Contratista y a satisfacción del Supervisor.

7.3.2 Alcance detallado de los trabajos eléctricos:

7.3.2.1 Equipo provisto por ELECTROPERU:

El Contratista debera asegurarse de que el equipo provisto por ELECTROPERU esté en buenas condiciones antes de su transporte.

Al llegar a la obra, todo el equipo será inspeccionado ante la presencia del Supervisor por si existieran daños ocasionados durante su transporte. El Supervisor será notificado de cualquier daño, aunque sea menor, incluyendose la propuesta del Contratista para su efectiva reparación o reemplazo, para su aprobación.

Las maquinarias, equipos y materiales serán almacenados en lugar limpio, seco y adecuadamente protegido para evitar su deterioro.

Cuando el montaje e instalaciones sean completados, el equipo será inspeccionado y limpiado cuidadosamente para remover cualquier recorte de cables, tuercas sobrantes, lavadores, acumulaciones de escombros o herramientas dejadas en el equipo.

El Contratista instalara, conectará y probará todos los cables mostrados en los planos y descripciones asociados con el equipo.



(a) Generador:

El Generador cumplirá con los siguientes requisitos:

- Modelo : Sincrono, sin escobillas, similar al modelo A490a (ALGESA).
- Conexión bobinados. : Serie-delta
- Potencia Aparente. : 375 kVA
- Potencia Activa. : 300 kW
- Potencia en sitio. : 261,4 kW
- Tensión. : 230 V
- Frecuencia. : 60 Hz
- Velocidad. : 1800 RPM
- Factor de potencia. : 0,8
- Tensión de cortocircuito. : 11 %
- Eficiencia. : 91,7 %

El excitador estará montado en el mismo eje que el rotor del generador, proporcionando corriente directa al campo principal a través de un conjunto rectificador rotativo. La corriente que requiera el excitador será suministrada mediante la rectificación de una porción de la potencia de salida del generador principal, por un regulador de voltaje estático.

(b) Transformador Principal:

El transformador trifásico en baño de aceite, con arrollamientos de cobre y núcleo de hierro laminado en frío, montaje exterior, enfriamiento natural, previsto para las siguientes condiciones de operación:

- Normas de ejecución. : ITINTEC 370
- Potencia nominal continua. : 500 kVA
- Frecuencia. : 60 Hz
- Altitud de Servicio. : 4000 msnm.
- Tipo. : Exterior
- Grupo de Conexión. : Dyn 5
- Tensión nominal : 22,9-13,2<sup>±</sup>2X2,5%  
primaria.
- Tensión nominal secundaria. : 230 V
- Factor de potencia. : 0,8
- Tensión de cortocircuito. : 4,5 %

**Accesorios normales:**

Que están incluidos en el precio de venta, en la ejecución básica.

1. Indicador de nivel de aceite.
2. Conmutador de tomas en vacío.
3. Dispositivo de vaciado y toma de muestras de aceite.
4. Placa de características.
5. Elemento de suspensión para levantar la parte activa o el transformador completo.
6. Perno para la puesta a tierra del tanque.
7. Tanque conservador de aceite.
8. Relé Buchholz con contactos de alarma y desconexión.
9. Termómetro.
10. Válvula de seguridad.
11. Ruedas orientables en planos perpendiculares.

**Capacidad de Sobrecarga:** Con una carga previo al pico del 70%, con una temperatura ambiente máxima de 20 °C y para 2 horas, la sobrecarga admitida será: 1,37 veces la nominal.

(c) Tablero de control eléctrico del grupo

Panel del tipo autosoportado que contiene los instrumentos de medida y los aparatos de protección y maniobra eléctrica del grupo turbina-generador.

Se anotan las características de uso comercial de los elementos constitutivos:

- Voltmetro: 0-500 V, clase 1.5, hierro móvil. Tamaño 96X96 mm.
- Frecuencímetro: 55-65 Hz, 220 V, clase 0.5 de lengüetas vibrantes. Tamaño 96 X96 mm.
- Vatímetro: 220 V, 60 Hz, clase 1.5, trifásico, 3 hilos, carga desequilibrada, tamaño 96X96 mm., Escala 0-300 kW, con TC 1000/5 A.
- Medidor de energía: 220 V, 60 Hz.
- Amperímetro: Hierro móvil, clase 1.5. Tamaño 96X96 mm., Escala 0-1000 A, con TC 1000/5A.
- Sincronoscopio: 230 V, clase 1.5, 60Hz
- Fusibles de protección de instrumentos: 6 A, 500 V, Tipo Dz
- Relé de Potencia Inversa: 220 V, 5 A, trifásico, calibrable entre 0-20 seg. y 0.20% de potencia invertida.
- Interruptor Principal: Termomagnético de caja moldeada, 600 V, capacidad de ruptura 2,5 MVA. 1000 A nominales, con relé térmico incorporado.
- Llave, mando al regulador de velocidad de la turbina.

(d) Tablero de control eléctrico principal:

Panel del tipo autosoportado que contiene los instrumentos de medida y manobra del transformador principal.

Los elementos constitutivos son:

- Voltmetro: 0-500 V, clase 1,5 , hierro móvil. Tamaño 96X96 mm.
- Amperímetro: Hierro móvil, clase 1.5, Tamaño 96X96 mm., Escala 0-2000 A, con TC 2000/5 A.
- Vatímetro: 220 V, 60 Hz, clase 1.5, trifásico, 3 hilos, carga desequilibrada, tamaño 96X96 mm. Escala 0-500 kW, con TC 2000/5 A.
- Medidor de energía: 220 V, 60 Hz.
- Fusibles de protección de instrumentos de 10 A, 500 V, tipo Dz
- Señal luminosa y acústica del relé tipo Buchholz.
- Interruptor principal: Termomagnético, de caja moldeada, 600 V, capacidad de ruptura 5,0 MVA, 2000 A nominales, con relé térmico incorporado.
- Barra de cobre DIN 40500, sección nominal 120 X 10 mm. long. 1 m. total 3

(e) Seccionador tipo cut-out:

Las características básicas que cumpliera son:

Tensión nominal : 27/38 kV

Corriente nominal del fusible : 50 A  
Nivel Básico de Aislamiento : 150 kV  
Altitud de Operación : 3900 msnm.

(f) Pararrayo:

Tipo autoválvular, cuyas características principales serán:

Tensión nominal : 18 kV  
Nivel Básico de Aislamiento : 125 kV  
Corriente de descarga : 10 kA  
Tensión de descarga : 76,5 kV  
Altitud de operación : 3900 msnm

(g) Cables de energía:

El cable de energía de interconexión entre el generador y el tablero será del tipo NYY, similar también para interconectar el tablero con el transformador elevador principal(dos por fase).

Normas de fabricación: CEI 20-14 y  
VDE 0271/10.63

Tensión de servicio : 0.6/1 kV  
Sección nominal : 3X500 mm<sup>2</sup>  
Aislamiento : PVC  
Capacidad de corriente : 823 A

7.3.2.2 Equipo provisto por el Contratista

El Contratista diseñará, proveerá e instalará el siguiente equipo obtenido en la localidad de la manera prescrita a continuación. Todo el equipo será cargado y transportado según practicas normales de seguridad y tratando de evitar daño alguno.

(a) Iluminación sistema de Distribución Auxiliar.

El contratista diseñara, proveera e instalará un sistema de iluminación y de distribución auxiliar de acuerdo con el Código Nacional de Electricidad, Normas Internacionales vigentes y Diseño de Ingeniería básica.

La iluminación en la sala principal de turbinas será por medio de artefactos con lámparas de vapor de mercurio pendientes de la parte inferior de la estructura del techo. Las demas áreas de la central serán iluminadas ya sea por lámparas fluorescentes o incandescentes. La iluminación de seguridad exterior será principalmente con accesorios exteriores tipo vapor de mercurio en postes de madera de siete metros.

Toda la iluminación interior y la distribución auxiliar serán efectuados con conductores no cableados y aislados con PVC; todos los circuitos se instalarán en conductos. El tamaño mínimo de cables para circuitos de iluminación será 1,5 mm<sup>2</sup> y de 2,5 mm<sup>2</sup> para los circuitos principales de tomacorrientes.

(b) Sistema de protección contra rayos y de puesta a tierra.

El contratista proveerá e instalará un sistema de protección contra rayos y de puesta a tierra según las normas, reglas prácticas y planos provistos. Es responsa

sabilidad del Contratista realizar pruebas de resistividad del suelo y proveer el equipo requerido de conexión a tierra para obtener una total resistencia a tierra de menos de veinte ohms.

El sistema de puesta a tierra consistirá básicamente en un sistema radial, con varias conexiones a las partes del equipo eléctrico y mecánico. Conexiones exteriores a los transformadores y otros equipos se efectuará con un conductor de cobre enterrado (25 mm<sup>2</sup>).

Para la protección contra rayos se correrá una cinta de cobre de puesta a tierra alrededor del techo del edificio principal con cables de descarga a tierra del pararrayo, colocadas en las esquinas, desde las astas o antenas correspondientes.

La puesta a tierra se efectuará por medio de varillas de cobre cooperweld, introducidas en el suelo sea en lugares indicados en los planos, sea en sitios determinados según mediciones de resistencia de suelos efectuados por el Contratista.

Todos los trabajos en metal serán conectados al sistema de puesta a tierra.

### 7.3.3. Alcance detallado de los trabajos mecánicos:

#### 7.3.3.1 Equipo provisto por ELECTROPERU

El Contratista deberá erigir y probar

los grupos turbina - generador incluyendo válvulas de entrada, gobernadores y equipo AVR. (de regulación automática de tensión).

Al llegar a la obra, todo el equipo será revisado ante presencia del Supervisor por si existieran daños ocasionados durante su transporte. El Supervisor será notificado de tales daños, aún cuando sean menores, y se le presentará la propuesta del Contratista para repararlos o cambiarlos, para su aprobación. El equipo será guardado en un lugar limpio y seco para evitar, su deterioro.

Pernos de anclaje para el equipo suministrado por ELECTROPERU serán incluidos en el equipo provisto. Los pernos se ubicarán integralmente con el concreto vaciado o serán fijados a las cimentaciones por el contratista de acuerdo con las instrucciones para el montaje del equipo.

Las características principales de la turbina es:

Tipo : Francis - eje horizontal - 1 rueda - 1 descarga - Lenta.

Potencia al eje : 373 CV

Velocidad : 1800 RPM

Velocidad específica : 83,3 rpm

Rendimiento total : 82 %

Altura de succión : 1,5 m.

Equipo Regulador de velocidad del tipo oleo-mecánico, taquimétrico, incorporado.



7.3.3.2 Equipo Provisto por el Contratista:

El Contratista diseñará, suministrará erigirá, probará y realizará la puesta en operación de una grúa o equipo similar, que trabajará sobre la totalidad de la casa de máquinas. Incluirá rieles soportes, vigas etc.

El equipo podrá ser usada para asistir en la erección del equipo eléctrico y mecánico, previendo que su capacidad no sea excedida.

Pequeñas tuberías, válvulas y demas materiales necesarios serán cubiertas como parte del alcance de las obras civiles.

Los planos provistos con estos documentos para el equipo Eléctrico y Mecánico son sólo de guía. Detalles del equipo serán dados al Contratista una vez que las fuentes de abastecimiento hayan sido decididas.

**VIII**

**CRONOGRAMA DE OBRA**



IX  
METRADO Y PRESUPUESTO

RESUMEN GENERAL DE LOS COSTOS DEL PROYECTO:

FECHA BASE : 07/86

|     |   |                               |                     |
|-----|---|-------------------------------|---------------------|
| 9.1 | INSTALACIONES GENERALES                 |                               | 150,500.00          |
| 9.2 | BOCATOMA Y BARRAJE                      |                               | 249,749.70          |
| 9.3 | DESARENADOR                             |                               | 123,699.60          |
| 9.4 | CANAL                                   |                               | 471,045.50          |
| 9.5 | CAMARA DE CARGA                         |                               | 246,963.85          |
| 9.6 | TUBERIA FORZADA                         |                               | 1'930,011.30        |
| 9.7 | CASA DE MAQUINAS-VIVIENDAS.             |                               | 522,356.70          |
| 9.8 | OBRAS ELECTRICAS                        |                               | 1'118,050.00        |
| 9.9 | OBRAS MECANICAS                         |                               | <u>3'184,900.00</u> |
|     |   |                               | 7'997,276.65        |
| -   | DIRECCION TECNICA Y ADMI-<br>NISTRACION | (15 %)                        | 1'199,591.50        |
| -   | IMPREVISTOS                             | (10 %)                        | <u>799,727.66</u>   |
| -   | COSTO TOTAL                             | I/.                           | 9'996,595.81        |
|     |   | (\$ USA/.                     | 577,170.66)         |
|     |   | ( Cambio: 1 \$ USA =17.32 I.) |                     |
| -   | COSTO POR kW. INSTALADO :               |                               | 1,154.30 \$ USA     |

METRADO Y PRESUPUESTO

PROYECTO : CENTRAL HIDROELECTRICA DE LIMBANI-PHARA PROVINCIA DE SANDIA, PUNO  
FECHA : JULIO - 1986

| ITEM                | ESPECIFICACIONES                          | METRADOS |          | COSTOS   |           |
|---------------------|---|----------|----------|----------|-----------|
|                     |   | Unidad   | Cantidad | Unitario | TOTAL     |
| 1.000               | <u>INSTALACIONES GENERALES</u>            |          |          |          |           |
| 1.100               | <u>Campamentos:</u>                       |          |          |          |           |
| 1.101               | Vivienda-pensión para empleados y obreros | GBL.     | 1,00     | 40000    | 40000,00  |
| 1.200               | <u>Almacenes y Talleres:</u>              |          |          |          |           |
| 1.201               | Almacen obra, polvorines y taller         | GBL.     | 1,00     | 25000    | 25000,00  |
| 1.300               | <u>Caminos Locales:</u>                   |          |          |          |           |
| 1.301               | Construcción y mantenimiento de caminos   | GBL.     | 1,00     | 12000    | 12000,00  |
| 1.302               | Transporte de equipo                      | GBL.     | 1,00     | 55500    | 55500,00  |
| 1.400               | <u>Obras provisionales:</u>               |          |          |          |           |
| 1.401               | Desviación del río                        | GBL.     | 1,00     | 18000    | 18000,00  |
| SUB - TOTAL (1.000) |   |          |          | I/.      | 150500,00 |



| ITEM         | ESPECIFICACIONES                             | METRADOS |                            | COSTOS   |                      |
|--------------|--|----------|----------------------------|----------|----------------------|
|              |  | Unidad   | Cantidad                   | Unitario | TOTAL                |
| 2.402        | Tablones de madera 0,25 X 0,50 X 5,60 m.     | Und      | 4,00                       | 2700,00  | 10800,00             |
| 2.403        | Escalera de mano 0,40 X 2,00 m.              | Und      | 1,00                       | 350,00   | <u>350,00</u>        |
|              |  |          | <b>SUB - TOTAL (2.000)</b> |          | <b>I/. 249749,70</b> |
| <b>3.000</b> | <b><u>DESARENADOR</u></b>                    |          |                            |          |                      |
| 3.100        | <u>Movimiento de tierras</u>                 |          |                            |          |                      |
| 3.101        | Excavación en roca suelta con equipo         | M3       | 75,00                      | 41,60    | 3120,00              |
| 3.102        | Excavación en roca fija a pulso              | M3       | 20,00                      | 155,30   | 3106,00              |
| 3.200        | <u>Obras de concreto</u>                     |          |                            |          |                      |
| 3.201        | Concreto tipo 175 (20) estructural           | M3       | 64,00                      | 998,20   | 63884,80             |
| 3.202        | Concreto tipo 210 (20) renovable             | M3       | 2,00                       | 1088,30  | 2176,60              |
| 3.203        | Encofrados planos                            | M2       | 32,00                      | 69,60    | 2227,20              |
| 3.204        | Armadura de refuerzo (inc. doblado y col.)   | kg       | 950,00                     | 12,30    | 11685,00             |
| 3.300        | <u>Elementos Metálicos</u>                   |          |                            |          |                      |
| 3.301        | Compuerta de admisión (ARMCO) 1,40 X 0,80 m. | Und      | 1,00                       | 28000,00 | 28000,00             |
| 3.302        | Compuerta de purga (ARMCO) 0,45 X 0,40 m.    | Und      | 1,00                       | 9500,00  | <u>9500,00</u>       |
|              |  |          | <b>SUB - TOTAL (3.000)</b> |          | <b>I/. 123699,60</b> |

| ITEM  | ESPECIFICACIONES                           | METRADOS |                            | COSTOS     |                  |
|-------|--|----------|----------------------------|------------|------------------|
|       |  | Unidad   | Cantidad                   | Unitario   | TOTAL            |
| 4.000 | <u>CANAL</u>                               |          |                            |            |                  |
| 4.100 | <u>Movimiento de tierras:</u>              |          |                            |            |                  |
| 4.101 | Excavacion canal con equipo en roca suelta | M3       | 1800,00                    | 41,60      | 74880,00         |
| 4.102 | Excavación canal en roca suelta a pulso    | M3       | 45,00                      | 155,30     | 6998,50          |
| 4.200 | <u>Obras de concreto:</u>                  |          |                            |            |                  |
| 4.201 | Concreto tipo 175 (20) estructural         | M3       | 350,00                     | 998,20     | 349370,00        |
| 4.202 | Concreto tipo 210 (20) renovable           | M3       | 15,00                      | 1088,30    | 16324,50         |
| 4.203 | Encofrados planos y curvos                 | M2       | 175,00                     | 102,50     | 17937,50         |
| 4.204 | Armadura de refuerzo (inc. doblado y col.) | kgr      | 450,00                     | 12,30      | 5535,00          |
|       |  |          | <b>SUB - TOTAL (4.000)</b> | <b>I/.</b> | <b>471045,50</b> |
| 5.000 | <u>CAMARA DE CARGA</u>                     |          |                            |            |                  |
| 5.100 | <u>Movimiento de tierras:</u>              |          |                            |            |                  |
| 5.101 | Excavación con equipo en roca suelta       | M3       | 350,00                     | 41,60      | 14560,00         |
| 5.102 | Excavación en roca suelta a pulso          | M3       | 25,00                      | 155,30     | 3882,50          |
| 5.200 | <u>Obras de concreto:</u>                  |          |                            |            |                  |
| 5.201 | Concreto 175 (20) estructural              | M3       | 114,00                     | 998,20     | 113794,80        |
| 5.202 | Concreto tipo 210 (20) renovable           | M3       | 3,50                       | 1088,30    | 3809,05          |
| 5.203 | Encofrados planos y curvos                 | M2       | 57,00                      | 102,50     | 5842,50          |



| ITEM  | ESPECIFICACIONES                            | METRADOS |                     | COSTOS   |                 |
|-------|---|----------|---------------------|----------|-----------------|
|       |   | Unidad   | Cantidad            | Unitario | TOTAL           |
| 5.204 | Armadura de refuerzo (inc. doblado y col.)  | kgf      | 1250,00             | 12,30    | 15375,00        |
| 5.300 | <u>Elementos Metálicos:</u>                 |          |                     |          |                 |
| 5.301 | Compuerta de admisión (ARMCO) 1,30 X 0,80   | Und      | 1,00                | 26500,00 | 26500,00        |
| 5.302 | Compuerta de descarga (ARMCO) 0,90 X 0,80   | Und      | 1,00                | 21200,00 | 21200,00        |
| 5.303 | Compuerta de purga (ARMCO) 0,70 X 0,70      | Und      | 1,00                | 17000,00 | 17000,00        |
| 5.304 | Rejilla de platina paso 3 cm. 3,30 X 2,00   | Und      | 1,00                | 25000,00 | <u>25000,00</u> |
|       |   |          | SUB - TOTAL (5.000) | I/.      | 246963,85       |
| 6.000 | <u>TUBERIA FORZADA</u>                      |          |                     |          |                 |
| 6.100 | <u>Movimiento de tierras:</u>               |          |                     |          |                 |
| 6.101 | Excavación talud con equipo material suelto | M3       | 480,00              | 9,50     | 4560,00         |
| 6.102 | Excavación anclajes y apoyos en roca suelta | M3       | 65,00               | 155,30   | 10094,50        |
| 6.103 | Nivelación y compactación del terreno       | M2       | 550,00              | 8,50     | 4675,00         |
| 6.104 | Relleno compactado con equipo               | M3       | 12,50               | 63,50    | 793,75          |
| 6.105 | Eliminación de material excedente           | M3       | 156,00              | 22,60    | 3525,60         |
| 6.200 | <u>Obras de concreto:</u>                   |          |                     |          |                 |
| 6.201 | Concreto tipo 175 (20) simple               | M3       | 2,50                | 697,30   | 1743,25         |
| 6.202 | Concreto tipo 175 (20) estructural          | M3       | 42,00               | 998,20   | 41924,40        |
| 6.203 | Encofrados planos                           | M2       | 85,60               | 69,60    | 5957,76         |
| 6.204 | Armaduras de refuerzo (inc. doblado y col.) | kgf      | 250,00              | 12,30    | 3075,00         |

**METRADOS COSTOS**  
**Unidad Cantidad Unitario TOTAL**

**ITEM ESPECIFICACIONES**

|       |  |     |        |                     |                |
|-------|--|-----|--------|---------------------|----------------|
| 6.300 | <u>Tubería:</u>  |     |        |                     |                |
| 6.301 | Tubería fabricada con plancha de acero de ca-<br>lidad estructural ASTM A283 GR C, diametro<br>interior 0,60 m. espesor 5mm. (13/64"). | Jgo | 1,00   | 1598069             | 1598069,00     |
| 6.400 | <u>Accesorios de tubería de acero:</u>   |     |        |                     |                |
| 6.401 | Papel asfáltico para asientos de apoyo   | M2  | 8,00   | 11,7                | 93,60          |
| 6.402 | Transporte de material pesado  | EST | 1,00   | 80500               | 80500,00       |
| 6.403 | Montaje tub.-acces. (incl. plnt.-pruebas)  | EST | 1,00   | 175000              | 175000,00      |
|       |  |     |        |                     | 175000,00      |
|       |  |     |        | SUB - TOTAL (6.000) | 1/. 1930011,30 |
| 7.000 | <u>Casa de Maquinas Edif. Auxiliar Vivienda:</u>   |     |        |                     |                |
| 7.100 | <u>Movimiento de tierras</u>   |     |        |                     |                |
| 7.101 | Limpieza nivelación y guardiana  | M2  | 225,00 | 5,2                 | 1170,00        |
| 7.102 | Corte masivo de material suelto  | M3  | 630,00 | 10,3                | 6798,00        |
| 7.103 | Excavación con equipo en roca suelta   | M3  | 245,00 | 41,6                | 10192,00       |
| 7.104 | Relleno compactado con equipo  | M3  | 16,00  | 63,6                | 1017,60        |
| 7.105 | Eliminación de material excedente  | M3  | 452,00 | 22,6                | 10170,00       |
| 7.200 | <u>Obras de concreto:</u>  |     |        |                     |                |
| 7.201 | Concreto tipo 210 (20) simple  | M3  | 152,00 | 1088,3              | 165421,60      |

| ITEM  | ESPECIFICACIONES                            | METRADOS |          | COSTOS   |          |
|-------|---|----------|----------|----------|----------|
|       |   | Unidad   | Cantidad | Unitario | TOTAL    |
| 7.202 | Concreto tipo 210 (20) estructural          | M3       | 3,50     | 1088,30  | 3809,05  |
| 7.203 | Encofrado plano para muros y cimentación    | M2       | 116,00   | 82,40    | 9558,40  |
| 7.204 | Encofrado plano para vigas y columnas       | M2       | 78,00    | 92,00    | 7176,00  |
| 7.205 | Armadura de refuerzo (inc. doblado y col.)  | kgr      | 3450,00  | 12,30    | 42435,00 |
| 7.300 | <u>Carpintería metálica:</u>                |          |          |          |          |
| 7.301 | Puertas (inc. chapas, bisagras y cerrojos)  | M2       | 21,00    | 1050,00  | 22050,00 |
| 7.304 | Vidrios fijos semidobles                    | M2       | 35,00    | 15,00    | 525,00   |
| 7.305 | Rejillas ajustables de ventilación          | M2       | 8,00     | 469,00   | 3752,00  |
| 7.400 | <u>Estructuras metálicas:</u>               |          |          |          |          |
| 7.401 | Cubierta metálica para pisos con marco      | M2       | 8,50     | 31,80    | 270,30   |
| 7.402 | Puente grua 3 tn. - 12 ml.                  | Und      | 1,00     | 25400,00 | 25400,00 |
| 7.403 | Tecle acción por cadenas vigas-carros       | Und      | 1,00     | 35480,00 | 35480,00 |
| 7.404 | Cerco perimétrico - puerta ingreso h=2,5 m. | M1       | 38,50    | 186,50   | 7180,25  |
| 7.500 | <u>Cobertura de estructura metálica:</u>    |          |          |          |          |
| 7.501 | Con planchas de eternit o calamina          | M2       | 220,00   | 116,60   | 25652,00 |
| 7.502 | Cumbrera de eternit o calamina              | M1       | 25,00    | 133,80   | 3345,00  |
| 7.600 | <u>Muros:</u>                               |          |          |          |          |
| 7.601 | De ladrillo caravista incluye enlucido      | M2       | 140,00   | 185,90   | 26026,00 |
| 7.602 | Pintura de muros exterior e interior        | M2       | 320,00   | 34,80    | 11136,00 |



| ITEM  | DESCRIPCION   | METRADOS |          | COSTOS                  |                 |
|-------|---|----------|----------|-------------------------|-----------------|
|       |   | Unidad   | Cantidad | Unitario                | TOTAL           |
| 8.302 | Protección contra rayos conex. a tierra   | GBL      | 1,00     | 22800,00                | 22800,00        |
| 8.303 | Colocación de cables con suministro   | GBL      | 1,00     | 102450,00               | 102450,00       |
| 8.400 | <u>Pruebas y Puesta en Operación:</u>   |          |          |                         |                 |
| 8.401 | Mano de obra y equipos para pruebas y puesta en operación.                                    | GBL      | 1,00     | 12500,00                | <u>12500,00</u> |
|       |   |          |          | SUB - TOTAL (8.000) I/. | 1118050,00      |
| 9.000 | <u>OBRAS MECANICAS</u>  |          |          |                         |                 |
| 9.100 | <u>Transporte equipo montaje inst. pruebas:</u>   |          |          |                         |                 |
| 9.101 | Turbina tipo Franciz 370 HP (275,8 kW), una descarga, 1800 RPM, velocidad específica 72 m-kW. | Und      | 2,00     | 1254000,00              | 2508000,00      |
| 9.102 | Regulador de velocidad y presión con equipo auxiliar asociado.                                | Und      | 2,00     | 320550,00               | 641100,00       |
| 9.200 | <u>Pruebas y puesta en Operación:</u>   |          |          |                         |                 |
| 9.201 | Mano de obra y equipos para pruebas y puesta en servicio                                      | GBL      | 1,00     | 35800,00                | <u>35800,00</u> |
|       |   |          |          | SUB - TOTAL (9.000) I/. | 3184900,00      |

## CONCLUSIONES:

### GENERALES:

- 1.- La construcción de la Central Hidroeléctrica de Limbani-Phara, contribuirá al Desarrollo Socio-Económico-Cultural de la Microregión Limbani y áreas adyacentes al permitirles tener acceso a la energía eléctrica. Así mismo contribuirá a elevar el coeficiente de electrificación del Departamento de Puno. El cual se encuentra entre los cuatro Departamentos con menores valores del País.
- 2.- La energía eléctrica como elemento fundamental en el desarrollo de los pueblos posibilitará el bienestar de los mismos al mejorar el nivel de Sub Desarrollo en relación a la Educación, permitiendo la escolaridad nocturna (óptima para la zona). A la cultura, Comunicación e Integración Nacional permitiendo su contacto con el resto del País; así como mejorando los servicios de salud, agua potable y demás servicios sociales.
- 3.- Tendrá un efecto multiplicador al optimizar las actividades productivas de la zona, generando nuevos puestos de trabajo y mejorando la economía de los pobladores que elevará su nivel de vida.
- 4.- Permitirá el afianzamiento de los sentimientos patrióticos de los pobladores al integrarlos al quehacer diario Nacional y disminuirá la influencia de los países vecinos en cuanto al uso de sus productos, por ser zo-

na fronteriza.

- 5.- El uso del recurso hídrico para la central hidroeléctrica no interfiere con ningún Proyecto Agrícola de la zona, por lo tanto no existirá ningún conflicto por el uso del mismo.
- 6.- Conforme al estudio realizado, el aprovechamiento hidráulico de Huancasayani no ocasiona efectos nocivos en el medio ambiente ni altera el Ecosistema zonal.

#### CONCLUSIONES TECNICAS:

- 1.- De acuerdo al estudio de Mercado los requerimientos de energía eléctrica para la Microregión alcanzaran a 146 kW en el año 1988(año de puesta en operación) y 495 kW para el año 2012(ultimo año de proyección).
- 2.- El diseño de la central se realizo con caudal de estiaje igual a  $0,5 \text{ m}^3/\text{seg}$ , con la construcción de la cámara de carga, cuyo volumen es  $180 \text{ m}^3$ , se consiguio un caudal firme o de diseño igual a  $0,55 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Y con una altura neta de 124,8 m., se pudo conseguir una potencia instalada para la central igual a 502 kW.
- 3.- El equipamiento electromecánico de la casa de máquinas se realizará en dos etapas, cada uno con 251 kW, la implementación de la segunda etapa será en el año 1993 .
- 4.- La turbina seleccionada es del tipo Francis- eje horizontal- 1 rueda- 1 descarga- lenta., trabajará con el potencial:  $H= 124,8 \text{ m.}$ ,  $Q= 0,275 \text{ m}^3/\text{seg}$ , y su potencia al eje será 373 CV.
- 5.- El generador seleccionado es del tipo: autoexcitado, sin escobillas y regulador automático de tensión., su capacidad es 375 kVA, a 230 V .
- 6.- La subestación elevadora será al intemperie, con un transformador de 500 kVA, siendo la relación de trans-

formación igual a 0,230 / 22,9 - 13,2 kV.

#### CONCLUSIONES ECONOMICAS:

- 1.- La inversión total requerida a nivel de costo de construcción asciende a \$USA 577171 (Precios de Mercado) y a \$USA 511544 (Precios Sombra), a julio de 1986.
- 2.- La comparación con la alternativa térmica equivalente, demuestra la conveniencia de la central hidroeléctrica para las tasas de descuento de 8%, 10%, 12% y 15%.
- 3.- El costo por kW instalado es de \$USA 1154 a precios de mercado y de \$USA 1023 a precios sombra. Estos costos disminuirán ostensiblemente si se toma en consideración la participación en mano de obra de las comunidades para las obras civiles que representan el 46% de los costos de construcción.
- 4.- El valor actual neto del Proyecto Hidroeléctrico es positivo hasta la tasa del 10 %. La relación Beneficio/costo es de 1.37, 1.04, 0.86 y 0.76 para las tasas del 8, 10, 12, y 15%, respectivamente. La tasa Interna de Retorno (TIR) es de 10.64% .
- 5.- Para el cálculo del TIR se impuso un precio de la energía igual a 3 centavos de dolar por kWh, el cual es un valor bajo pero que sin embargo es justificado, dado el caracter eminentemente social del proyecto, esta tasa mejorará si se consideran mayores precios en la venta de energía eléctrica, aunque esto afectaría negativamente en el consumo de la misma, dada la baja capacidad económica de la población servida, pero también debe tenerse en cuenta que el uso de la energía eléctrica les beneficia económicamente ya que no tendrán que utilizar otras fuentes de energía, que en muchos casos resulta más costosa.
- 6.- Los pobladores de la Microregión obtendrán un benefi



cios derivado de:

- Del ahorro que obtendrán al pagar por la misma cantidad de energía que actualmente consumen (aproximadamente 162,975 kWh), un precio de \$USA 0.03 por kWh. menor que el de \$USA 0.1778 que les cuesta "sin el proyecto" cada kWh equivalente.
- Del incremento en el consumo al disponer la comunidad de una mayor cantidad de energía más barata producida por el proyecto.

7.- Estos beneficios para los pobladores de la Microregión serán aproximadamente \$USA 34,363 para el año 1988 siendo 3.79 veces el ingreso recibido por la venta de energía y para el año 2012 llegan a \$USA 113,662 y representan 2.75 veces el ingreso por venta de energía.

8.- El financiamiento del proyecto será con fondos provenientes del DL 163, así como del convenio que se suscribirá con la Corporación Departamental de Puno.

BIBLIOGRAFIA

NOZAKI, Ing. Tsuguo : " Guía para la elaboración de Proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas destinadas a electrificación rural del Perú", 1980- Lima, Perú.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA, "Censos Nacionales VIII de población, III de vivienda", 1981- Lima, Perú.

ELECTROPERU, "Estudio de Factibilidad de la Central Hidroeléctrica de SAN GABAN, Puno", 1985- Lima, Perú.

CONVENIO AID, "Desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas", 1983- Lima, Perú.

INDACOCHEA, Ing. Enrique : "Metodología Sintético para el cálculo y especificación preliminar de Microcentrales Hidroeléctricas", 1980- OLADE, Quito, Ecuador.

MACHADO, Ing. Luis Eduardo : "Hidrología para Proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en ausencia de datos", 1980- OLADE, Quito, Ecuador.

ELECTROPERU, "Estudio de Definición de la Central Hidroeléctrica de Sandia - Puno", 1985- Lima, Perú.

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS, "Proyecto de Electrificación de la localidad de Usicayos- Puno", 1983- Lima, Perú.

GAUDENCIO ZOPPETTI.- "Centrales Hidroeléctrica ", 1979- Barcelona, España.

QUANTZ.- "Motores Hidráulicos", 1978- Barcelona, España.

MATAIX.- Máquinas Hidráulicas", 1980- Barcelona, España.

ZUBICARAY, ALONZO : "Energía Hidroeléctrica", 1977- Mexico.

CASTELFRANCHI.- "Centrales Eléctricas", 1982- Lima, Perú.

TAYLOR, G. : "Ingeniería Económica", 1977- Mexico.

RAMOS CHORRO.- "Proyectos de Inversión", 1985- Lima Perú

RAMIREZ, JOSE.- "Estaciones de Transformación y Distribución, Protección de Sistemas Eléctricos", 1972- Barcelona España.

CODIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD.- 1978, Lima - Perú.

LEY GENERAL DE ELECTRICIDAD N° 23406 .