



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**FACULTAD DE INGENIERIAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Tesis previa a la obtención del Título de
Ingeniero Eléctrico**

**DISEÑO ELECTRICO DE LA MICRO CENTRAL
HIDROELECTRICA PUCUNO, RED DE TRANSMISION
Y DISTRIBUCION PARA LA POBLACION DE WUAMANI**

AUTOR: VINICIO DAVID GOMEZ AGUIRRE

DIRECTOR: ING. FAUSTO MENDEZ

QUITO – ECUADOR

2010



INDICE GENERAL

CAPITULO I.....	8
INFORMACIÓN GENERAL DE LA MICRO CENTRAL.....	8
1.1 INTRODUCCIÓN.....	8
1.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA MICRO CENTRAL....	9
1.2.1 Ventajas.....	10
1.2.2 Desventajas.....	11
1.3 ELEMENTOS QUE COMPONEN UNA MICRO CENTRAL.....	11
1.3.1 Presa.....	12
1.3.2 Obras de Toma.....	13
1.3.3 Sistema de conducción.....	13
1.3.4 El Desarenador.....	14
1.3.5 La cámara de carga o tanque de presión.....	15
1.3.6 La tubería de presión.....	16
1.3.7 Canal de fuga.....	17
1.3.8 Turbina Hidráulica.....	18
1.3.9 Regulador de velocidad.....	21
1.3.10 Generador.....	22
1.3.11 Transformador.....	23
1.3.12 La Micro Central o Sala de Máquinas.....	23
1.4 UBICACIÓN DE LA MICRO CENTRAL.....	25
1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MICRO CENTRAL.....	28
1.5.1 Descripción de las Obras Civiles.....	28
1.5.2 Descripción eléctrica.....	32
CAPITULO II.....	36
DISEÑO ELECTRICO DE LA CASA DE MÁQUINA.....	36
2.1 DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DE LA CASA DE MÁQUINAS.....	36
2.1.1 Condiciones Técnicas de la Obra Civil de la Casa de Máquinas.....	38
2.1.2 Equipo electromecánico básico de la casa de máquinas.....	40
2.1.3 Sistema eléctricos de Iluminación y Fuerza.....	42
2.1.4 Procedimiento de cálculo de protecciones para iluminación y fuerza.....	49



2.2 DISEÑO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL GENERADOR...	51
2.2.1 Parámetros e información básica para el diseño.....	51
2.2.1.1 Parámetros e información eléctricos.....	51
2.2.1.2 Información del equipo mecánico.	54
2.2.1.3 Información de la obra civil.....	58
2.2.2 Criterios de Selección del generador.	58
2.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE TURBINA.....	67
2.3.1 Regulación de Velocidad.....	67
2.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA EL GENERADOR... 72	
2.4.1 Generalidades.	72
2.4.2 Regulador Automático de tensión (AVR) electrónico.-	73
2.4.3 Sistemas y dispositivos de regulación.	75
2.5 DISEÑO DE PROTECCIONES PARA LA TURBINA Y GENERADOR.....	77
2.5.1 Protección de la turbina.	77
2.5.2 Protección del generador.	79
2.6 DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDIDA.....	82
2.6.1 Características eléctricas.	84
2.6.2 Características mecánicas.	84
2.6.3 Principios de programación.	84
CAPITULO II	86
DISEÑO ELECTRICO DEL PATIO DE MANIOBRAS O SUBESTACION.....	86
3.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL TRANSFORMADOR.....	89
3.1.1 Generalidades.	89
3.1.2 Características técnicas del transformador de Potencia.....	90
3.1.3 Análisis de los datos del transformador de potencia.	91
3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE CORTE Y PROTECCIÓN PARA EL TRANSFORMADOR DE POTENCIA.....	92
3.2.1 Equipos de protección y corte contra fallas internas y sobrecalentamiento del transformador.	93
3.2.2 Protección del transformador contra fallas externas y sobre voltajes	98



3.3 DISEÑO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA.....	107
3.3.1 Voltaje de paso máximo permisible.	108
3.3.2 Voltaje de toque o de contacto máximo permisible.	109
3.3.3 Área transversal del conductor a enterrarse.....	110
3.3.4 Longitud del conductor a enterrarse.	111
3.3.5 Disposición de la malla de tierra.	114
3.3.6 Comparación de los Resultados.....	115
3.4 DISEÑO DE LAS INSTALACIONES.....	116
3.4.1 Condiciones Técnicas de la Obra Civil.	117
CAPITULO IV.....	120
DISEÑO DE LA RED DE TRANSMISIÓN Y RED DE DISTRIBUCIÓN.....	120
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE TRANSMISIÓN.....	120
4.2 UBICACIÓN Y TRAYECTORIA DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.	121
4.3 DISEÑO DE LA RED DE TRANSMISIÓN.....	123
4.3.1 Condiciones Generales del Sistema.....	123
4.3.2 Parámetros de Diseño.	125
4.3.2.1 Clasificación de consumidores.	125
4.3.2.2 Periodos de Diseño.	126
4.3.2.3 Caídas de Tensión Admisible.	126
4.3.2.4 Tipo de instalación.....	120
4.3.2.5 Configuración de Circuitos.....	127
4.3.3 Diseño de la Red Primaria.	128
4.3.3.1. Estructuras de soporte.....	129
4.4 ANÁLISIS DE LA CAÍDA DE VOLTAJE.....	133
4.4.1 Cálculo de la caída de tensión en el alimentador primario.....	133
4.5 DISEÑO DE PROTECCIONES.....	137
4.5.1 Dispositivos de seccionamiento y protección.....	137
4.6 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	139
4.6.1 Tipo de usuario.	139
4.6.2 Estudio de carga y demanda máxima.	140
4.6.3 Diseño de la red de distribución.	145
4.6.3.1 Cómputo de la caída de voltaje.	146
4.6.3.2 Estructuras de soporte.....	156
4.6.4 Diseño de los Transformadores de Distribución.	159



4.6.4.1 Procedimiento de Cálculos.....	159
4.6.4.2 Conexión a tierra.....	163
4.6.5 Diseño de alumbrado público.....	163
4.6.5.1 Tipo de luminaria.....	163
4.6.5.2 Tipo de control.....	163
4.6.6 Diseño de protecciones.....	164
4.7 HERRAJES GALVANIZADOS.....	168
CAPITULO V.....	170
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	170
5.1 ANÁLISIS ECONOMICO PREVIO A SU APROBACION.....	170
5.1.1 Evaluación Socio Económica.....	170
5.1.2 Análisis de Producción Energética de la micro Central Pucuno.....	170
5.1.3 Evaluación Financiera del Proyecto.....	174
5.1.4 Hipótesis de Calculo.....	175
5.1.5 Matemática Financiera para la Evolución Económica del Proyecto.....	176
5.1.5.1 Valor Futuro del Dinero.....	176
5.1.5.2 Valor Presente del Dinero.....	176
5.1.5.3 Valor Presente de una serie de amortizaciones.....	177
5.1.5.4 Cuota Anual.....	178
5.2 RENDIMIENTO DEL PROYECTO.....	179
5.2.1 Indicadores o criterios de Evaluación.....	179
5.2.2 Calculo de Ingresos por Efectos de Venta de Energia.....	181
5.2.3 Análisis de Indicadores Económicos.....	183
5.3 PRESUPUESTO REFERENCIAL.....	187
CONCLUSIONES.....	191
RECONEDACIONES.....	193
BIBLIOGRAFIA.....	194
ANEXOS.....	195



INDICE DE TABLAS

CAPITULO I

Tabla 1.1 Tipos de turbina según la velocidad específica _	20
---	----

CAPITULO II

Tabla 2.1 Caudales Instantáneos tomados en el Río Pucuno _	62
Tabla 2.2 Datos de Caída neta y Caída bruta_	64
Tabla 2.3 Efectos negativos debido a una operación en alta frecuencia_	68
Tabla 2.4 Efectos negativos debido a una operación en baja frecuencia_	69
Tabla 2.5 Características técnicas del la Turbina Francis_	72
Tabla 2.6 Relés recomendados para protección del Generador_	81
Tabla 2.7 Relés recomendados para Protección del Generador_	82
Tabla 2.8 Magnitudes que mide el PM - 500_	83

CAPITULO III

Tabla 3.1 Especificaciones técnicas del Transformador de Potencia _	90
Tabla 3.2 Especificaciones técnicas del Interruptor Termomagnético_	97
Tabla 3.3 Especificaciones técnicas del Relé de sobre corriente_	102
Tabla 3.4 Especificaciones técnicas del transformador de corriente_	103
Tabla 3.5 Especificaciones técnicas del pararrayos_	106

CAPITULO IV

Tabla 4.1 Selección de fusible _	139
Tabla 4.2 Información de la población de la Parroquia de Cotundo_	141
Tabla 4.3 Información de Cargas_	141



CAPITULO V

Tabla 5.1	Calculo energético del proyecto PUCUNO _.....	151
Tabla 5.2	Resumen energéticos del proyecto PUCUNO_.....	151
Tabla 5.3	Calculo de ingresos por venta de energía_.....	181
Tabla 5.4	Calculo de indicadores de evaluación con amortización _.....	182
Tabla 5.5	Calculo de indicadores de evaluación sin amortización _.....	183



CAPITULO I

INFORMACIÓN GENERAL DE LA MICRO CENTRAL

1.1 INTRODUCCIÓN.

La hidro-generación de energía en pequeña escala constituye una alternativa a la solución del problema del suministro de energía eléctrica en regiones aisladas, especialmente en los países en vías de desarrollo, constituyéndose así en una de las bases principales para la electrificación rural. Sin embargo, es frecuente que durante su planeamiento se incurra en prolongados periodos de estudios, lo que se traduce en una elevación del costo del proyecto. Para que los proyectos puedan ser identificados, diseñados y ejecutados en el periodo más corto posible para satisfacer una cierta demanda eléctrica, se requiere la adopción de una metodología apropiada que sea considerablemente más simple que la utilizada en los grandes proyectos hidroeléctricos. De este modo, la selección del esquema más conveniente garantizará una operación adecuada de la pequeña central y posibilitará la obtención del máximo beneficio del proyecto en sus aspectos técnicos, económicos y sociales.

Los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos no necesitan utilizar grandes presas ni disponer de embalses. Este tipo de centrales son del tipo de pasada o filo de agua lo que quiere decir que las turbinas generan electricidad mientras pase por ellas un caudal igual o superior a su mínimo técnico y se paran cuando el caudal desciende por debajo de ese nivel.

El objetivo de un aprovechamiento hidroeléctrico, es convertir la energía potencial de una masa de agua situada en el punto más alto en energía eléctrica, disponible en el punto más bajo, donde está ubicada la casa de máquinas (*sitio donde se produce la generación hidráulica*). Sin embargo, ningún aprovechamiento puede entregar la misma cantidad de energía útil como la que adsorbe, pues una parte de la energía se pierde en el sistema mismo en forma de fricción, calor, ruido, etc.



De acuerdo con la altura del salto los aprovechamientos pueden clasificarse en:

- | | |
|----------------|--------------|
| a. Alta caída | Mas de 150 m |
| b. Media caída | 50 a 150 m |
| c. Baja caída | 2 a 50 m |

Estos límites solo constituyen un criterio de clasificación. La potencia eléctrica que se obtiene en un aprovechamiento fluvial (*Ríos*), es proporcional al caudal utilizado (*Presa*) y a la altura del salto (*Tubería de Presión*)¹.

El caudal se define como la masa de agua que pasa en un tiempo determinado por una sección del cauce y por desnivel, el salto bruto es la distancia medida en vertical que recorre la masa de agua (*diferencia de nivel entre la lámina de agua en la toma y en el punto donde se restituye al río el caudal ya turbinado*)².

1.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA MICRO CENTRAL.

Las centrales de generación en pequeñas escalas se las define como una instalación hidro electromecánica destinada a la producción de energía hidroeléctrica en pequeña escala. La importancia práctica fundamental desde el punto de vista de las Micro Centrales Hidroeléctricas; radica en la posibilidad del desarrollo de proyectos con un equipo técnico local, esto se debe a que los componentes de la obra en general no son muy complejos y sus costos no son elevados; de esta manera se reduce la inversión de implementación.

Una micro central hidroeléctrica tiene por finalidad aprovechar, mediante un desnivel o salto, la energía potencial contenida en forma de agua, las cuales solo son potencialmente alcanzable en específicos ríos, cuya ubicación raramente coincide con la

¹ OLADE – ITDG Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas. Perú, 1995.

² OLADE – ITDG Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas. Perú, 1995.



disposición de los centros de consumo, por lo general se ubican a largas distancias, siendo necesario asociar a este sistema un mecanismo para transportar la energía generada hasta los centros de consumo, siendo este uno de los pocos factores en contra de este tipo de generación.

La transformación de la energía potencial del agua en energía mecánica se realiza a través de máquinas hidráulicas, que se activan gracias a la masa de agua que pasa por su interior. A su vez, la potencia mecánica ejercida en el eje de la máquina se puede utilizar directamente para realizar trabajo (*como en los molinos de agua*) o para producir energía eléctrica, conectando el eje a través de reductores adecuados, a otra máquina que se encargara de transformar la energía mecánica producida en su eje en energía eléctrica.

1.2.1 Ventajas.

- Solución de problemas de costos crecientes y dificultades en el abastecimiento de combustible, principalmente en zonas rurales y aisladas.
- No produce contaminación y es energía renovable.
- No requieren combustible, sino que usan una forma renovable de energía, constantemente repuesta por la naturaleza de manera gratuita.
- Aprovechan al máximo todos los recursos hídricos disponibles, ya que los lugares de instalación son muy variados y la central es muy sencilla.
- Generalmente se diseñan para el caudal mínimo.
- Necesitan un limitado recurso hídrico para producir energía eléctrica.
- Ocupan poco sitio y, gracias a su estructura compacta, son relativamente fáciles de transportar incluso en lugares inaccesibles.
- La energía es limpia, pues no contamina ni el aire ni el agua.
- Los costos de mantenimiento y explotación son bajos.
- Las obras de ingeniería necesarias para aprovechar la energía hidráulica tienen una duración considerable.
- La vida útil de la Micro Central Hidroeléctrica es larga ubicándose en un rango de 25 años o más.



1.2.2 Desventajas.

- Su potencia de generación es limitada.
- El costo del Kwh instalado es muy elevados, y este valor dependerá de un análisis socio- económico, ya que éste valor está relacionado directamente con los valores de implementación del proyecto y la vida útil del mismo.
- El emplazamiento, determinado por características naturales, puede estar lejos del centro o centros de consumo y exigir la construcción de un sistema de transmisión de electricidad, lo que significa un aumento de la inversión y en los costos de mantenimiento y pérdida de energía.
- La construcción lleva, por lo común, largo tiempo en comparación con la de las centrales termoeléctricas.
- La disponibilidad de energía puede fluctuar de estación en estación y de año en año.

1.3 ELEMENTOS QUE COMPONEN UNA MICRO CENTRAL.

Una Micro Central se encuentra constituida por varios elementos, como parte de éste estudio en la *figura 1.1* se reflejan los más importantes y se explica a continuación.

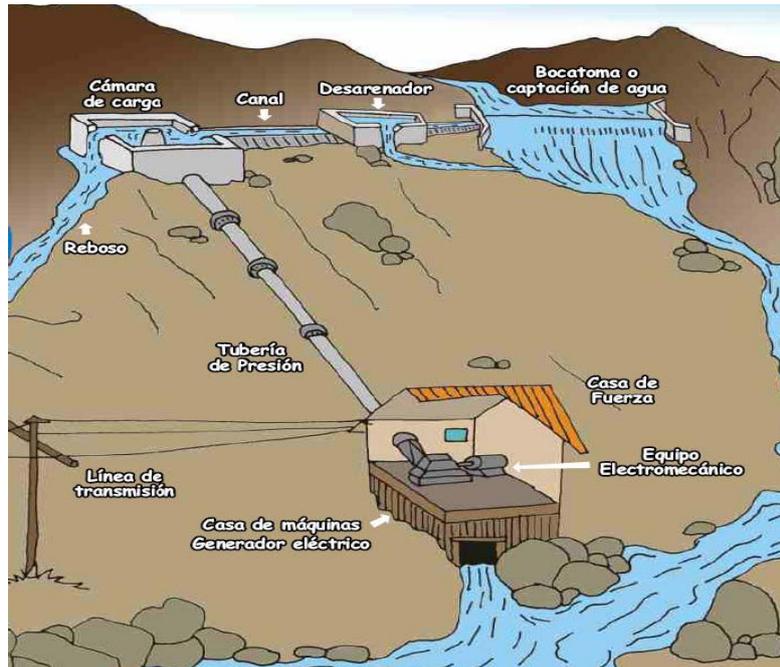


Figura 1.1 Componentes de una Micro Central Hidroeléctrica

1.3.1 Presa. Obra sobre el cauce principal del agua para almacenamiento y/o elevación de su nivel. En micro centrales hidroeléctricas generalmente se emplean obras de toma, construcción sencilla (*ver figura 1.2*)



Figura 1.2 Presa Típica.

1.3.2 Obras de Toma. La ubicación de las obras de toma y derivación se las diseñan tomando en cuenta la topografía de la región y condiciones del curso del agua. Como criterio general, se debe buscar un sitio seguro, por lo general con presencia de roca, en cuanto a la dirección del curso del agua, se debe evitar en lo posible la ubicación de las obras en curvas, ya que hay que considerar que en la margen interna de la curva, durante las crecientes entrara en la bocatoma piedras y arena que posteriormente formara un banco de arena y podrá dar problemas con el ingreso del agua, mientras que sobre la margen externa de la curva es donde impactan los materiales flotantes (*ver figura 1.3*).



Figura 1.3 Bocatoma

1.3.3 Sistema de conducción. El canal de conducción es una estructura hidráulica de forma rectangular artificialmente construida, que en razón de su pendiente puede conducir agua de un lugar a otro. En el caso de MCH³, casi siempre se trata de conducción a cielo abierto de sección rectangular. El canal debe ser diseñado para el caudal del proyecto es decir el caudal de diseño de la máquina hidráulica. Sus paredes laterales deben estar a una cota mayor por lo menos 0,20 m con respecto a la cota original. Debe tenerse en cuenta la manera de coleccionar y eliminar las aguas que escurren paralelamente por las paredes del canal, llevándolas a puntos estratégicos donde serán evacuadas sin daños para el canal. Las paredes del canal deben ser revestidas en su totalidad por materiales como cemento, estas mejoras siempre aseguran vida útil al canal disminuyendo complicaciones en el mantenimiento (*ver figura 1.4*).

³ MCH → Micro Central Hidroeléctrica.



Figura 1.4 Canal de Conducción a cielo abierto

1.3.4 El Desarenador. Puede que sea la obra civil más importante en el desarrollo de proyectos de generación hidroeléctrica, ya que el agua captada del río y conducida hacia la máquina hidráulica, por lo general en las épocas de crecientes de caudal transporta pequeñas partículas de materia sólida en suspensión compuesta de materiales abrasivos (como arena) que ocasionan daños en los equipos electromecánicos. Para eliminar este problema se usan los desarenadores. En estos la velocidad del caudal es reducida o casi nula con el objeto que las partículas de arena o piedras se depositen o se asienten en el fondo de donde podrán ser removidas fácil y oportunamente (*ver figura 1.5*)



Figura 1.5 Desarenador



El desarenador debe cumplir ciertas características importantes como:

- Tener una longitud y un ancho adecuados para que los sedimentos se depositen, sin ser voluminosos.
- Permitir una fácil eliminación de los depósitos.
- Las compuertas de ingreso y salida del agua deben ser adecuadamente diseñadas para evitar problemas en los equipos electromecánicos.
- La eliminación de sedimentos a través de las compuertas debe hacerse cuidadosamente para evitar la erosión del suelo que rodea y soporta a la tubería.
- Se debe implicar la turbulencia del agua causada por cambios de área o recodos que harían que los sedimentos ingresen a las tuberías.
- Tener capacidad suficiente para permitir la acumulación de sedimentos.

1.3.5 La cámara de carga o tanque de presión. Es una estructura que vincula el sistema de baja presión de la obra de toma o el canal de conducción forzada. La finalidad de la cámara de carga es de amortiguar las variaciones de operación originadas por la maniobra de los sistemas de control de flujo de agua del equipo electromecánico (*ver figura 1.6*). Tiene básicamente cuatro vías de movimiento de flujo:

1. *La acometida por donde ingresa el canal que trae el agua desde la toma.*
2. *Un vertedero o tubo para eliminar los excedentes de caudal que no será utilizado.*
3. *Un descargador de fondo que permitirá el vaciado y limpieza de partículas sedimentadas.*

4. *La alimentación mediante mallas de filtrado o compuertas a las obras de conducción que se encargara de conducir el agua a los equipos electromecánicos.*

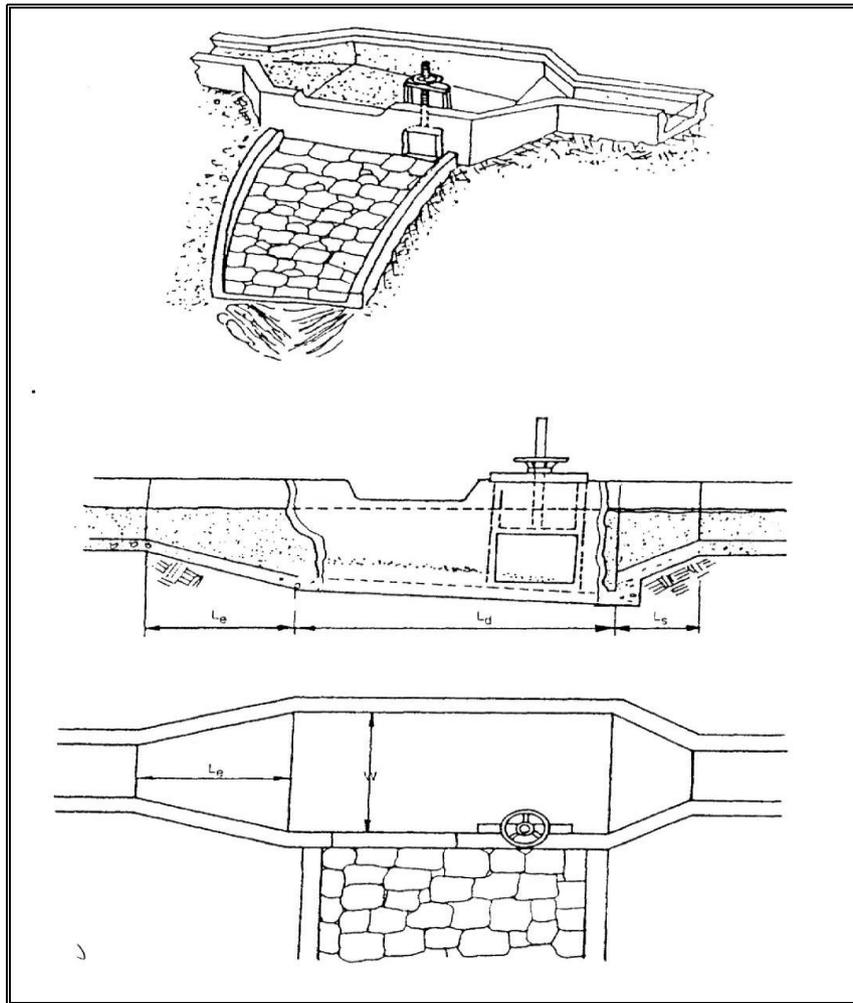


Figura 1.6 Esquema de una Cámara de carga

1.3.6 La tubería de presión. Es una parte importante porque constituye un elemento indispensable y quizás el más costoso de todo el proyecto, ya que éste define el salto útil de aprovechamiento. La selección de la tubería más conveniente requiere como primer paso determinar el diámetro del mismo y la presión de trabajo que deberá soportar considerando márgenes de sobre presiones.

Estos parámetros, condiciones de suministro local de materiales, tubos prefabricados y sus costos determinaran la solución más conveniente.

Para una misma potencia instala la combinación caudal / altura del aprovechamiento indican si se requiere mayor diámetro (Q) y menor presión de trabajo (H) o viceversa. Hay que tomar en cuenta que la sección de la tubería también depende de la velocidad máxima admisible para el agua que circule en su interior, a su vez esta velocidad depende de las pérdidas de altura que puede admitir el proyecto.

En la **figura 1.7** se muestra los principales componentes de una tubería de presión.

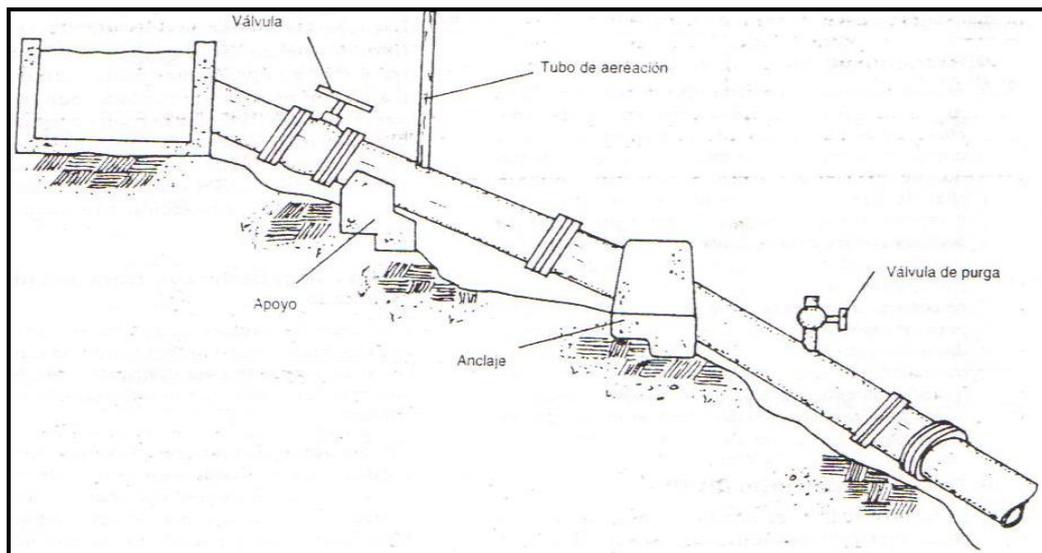


Figura 1.7 Elementos de la Tubería de Presión.

1.3.7 Canal de fuga. Es una estructura de conducción que restituye el agua de la casa de máquinas a la fuente de donde fue tomada o a otra vertiente.

1.3.8 Turbina Hidráulica. Una turbina hidráulica viene a ser una turbo máquina hidráulica, en la cual el trabajo mecánico proviene de la variación de la cantidad de movimiento del agua al fluir a través de un sistema de álabes rotativos. En este sistema, denominado rodete, puede ocurrir una simple desviación del flujo de agua, en otros casos, una desviación y una aceleración de este flujo

Las turbinas hidráulicas se clasifican en dos grandes grupos: turbinas de acción y turbina de reacción. A estos dos grupos corresponden las turbinas modernas que hoy en día se emplean en las centrales hidroeléctricas, sean estas pequeñas o grandes.

- **Turbinas de acción.**

- a) *Turbinas Pelton de 1 o más inyectores.*



- b) *Turbinas Michell-Banki.*

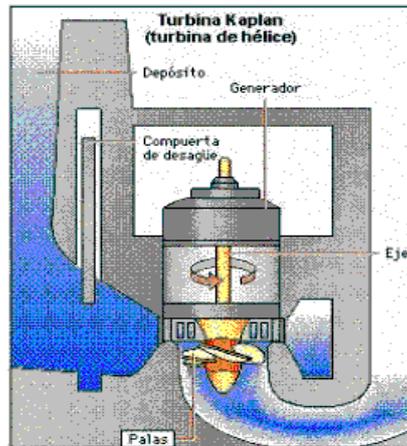


- **Turbinas de Reacción.**

- a) *Turbina Francis.*



- b) *Turbina Kaplan.*



- c) *Turbinas axiales o de hélice*





En las turbinas hidráulicas existen dos conceptos importantes que se deben tomar en cuenta y son: la velocidad Especifica y Velocidad de rotación.

- **Velocidad Específica.** Es la magnitud de comparación entre los rodets de las turbinas de diferentes tipos; es la relación constante entre la velocidad de un rodete en el punto de eficiencia más alta, y la potencia de salida máxima a esa velocidad, sin tomar en cuenta el tamaño. La velocidad específica de cualquier rodete que opera bajo una carga H esta velocidad se la calcula mediante la **ecuación 3.1.**

$$N_s = N \frac{\sqrt{P}}{H^{5/4}} \quad (3.1)$$

Donde:

$N_s \rightarrow$ velocidad específica, tomar en cuenta las unidades

$N \rightarrow$ velocidad de rotación de la turbina, (rpm)

$P \rightarrow$ potencia al eje de la turbina, (Kw)

$H \rightarrow$ caída neta, (m)

En términos generales, la velocidad específica de las turbinas de acción es baja, comparada con las turbinas de reacción. En el siguiente cuadro se muestra una guía para la selección del tipo de turbina, según su velocidad específica: **Tabla 1.1.**

Velocidad específica N_s	Tipo de turbina
De 5 a 30	Pelton con un inyector
De 30 a 50	Pelton con varios inyectores
De 50 a 100	Francis lenta
De 100 a 200	Francis normal
De 200 a 300	Francis rápida
De 300 a 500	Francis doble gemela rápida o express
Más de 500	Kaplan o hélice

Tabla 1.1 Tipos de turbina según la velocidad específica

Fuente: OLADE – ITDG Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas. Perú, 1995



- **Velocidad de rotación.** Debido al hecho de que las turbinas hidráulicas se acoplan a generadores de corriente alterna, las velocidades de la turbina deben concordar en lo posible con una de las velocidades sincrónicas requeridas para la frecuencia de la red, que en el Ecuador es de 60 Hz. Las velocidades sincrónicas se calculan con la **ecuación 3.2**.

$$N = \frac{120 * f}{\# \text{ polos}} \quad (3.2)$$

Donde:

$N \rightarrow$ velocidad de rotación del generador (turbina), (rpm)

$f \rightarrow$ frecuencia de la red, (Hz)

$N^\circ \rightarrow$ número de polos del generador (par)

El número N_s ayuda en la clasificación de las turbinas de forma cuantitativa entre rápidas, normales y lentas:

- *T. Paltón:* *bajos caudales y saltos grandes:* N_s bajo
- *T. Kaplan:* *grandes caudales y saltos pequeños:* N_s alto
- *T. Francis:* *rango amplio aplicación:* N_s bajo y medio

Para aumentar la velocidad del rodete, se subdivide el flujo en chorros que impactan al rodete: hasta 6 en la Paltón y hasta 2 en la Francis; de esta manera la turbina es de menor tamaño y puede acoplarse un generador más rápido. Si un solo chorro impactara en las cucharas de una Paltón, éstas serían más robustas que si se dividiera en chorros parciales.

1.3.9 Regulador de velocidad. Consiste en un servomecanismo que mantiene constante la velocidad de giro de la turbina y consecuentemente la frecuencia de la energía eléctrica generada. Para obtener una velocidad constante del grupo generador, existiendo una demanda variable, es necesario que todo momento la potencia disponible al ingreso del grupo generador, debe ser igual a la potencia eléctrica a la salida de este, más las pérdidas internas del grupo.



$$\text{Potencia de ingreso} = \text{Potencia de salida} + \text{pérdidas}$$

Este equilibrio se logra regulando la cantidad de agua que ingresa a la turbina, de tal manera que si se produjera un aumento en la demanda, se abrirá una válvula que permite el mayor ingreso de agua a la turbina ocasionando que la potencia generada sea igual a la demanda.

Dado que la frecuencia de la corriente eléctrica es directamente proporcional a la velocidad de giro del alternador, una variación en la velocidad de giro se traduce en una variación en la frecuencia del sistema eléctrico, que debe tener un valor de 60 ó 50 Hertz según el país.

1.3.10 Generador. Los generadores sincrónicos es la máquina de uso prioritario en las unidades de generación. Con el tiempo ha tenido una tremenda evolución en su análisis, magnitud de potencia y métodos de enfriamiento; sin embargo, la estructura básica sigue siendo la misma que cuando fue introducida en el mercado (*Ver Figura 1.8*).



Figura 1.8 Generador Sincrónico

El generador sincrónico tiene el bobinado de campo excitado por corriente continua y la tensión desarrollada en la armadura es alterna, de ahí que también se denominan alternador.

1.3.11 Transformador. Es el equipo que permite variar el voltaje permitiendo el transporte de energía a distancias requeridas. Desde luego que el conjunto turbina – generador, así como los equipos electromecánicos que comprenden: válvula principal, transmisión turbina – generador, por acoplamiento directo o por sistemas de transmisión, instrumentación hidráulica (*manómetros*), pararrayos, deben estar protegidos contra las adversidades climatológicas dentro de una casa de máquinas (*Ver figura 1.9*).



Figura 1.9 Transformador de Potencia

1.3.12 La Micro Central o Sala de Máquinas. Está constituida por las obras civiles en donde se albergan los equipos electromecánicos turbina – generador que son los encargados de realizar la conversión de energía hidráulica a mecánica y mecánica a eléctrica, así como los elementos de control, protección y medición. Por lo general en la MCH estas instalaciones son de dimensiones reducidas.

El producto (*energía eléctrica*) resultante del proceso de conversión, tienen requisitos de calidad técnicos que deben ser satisfechos. Tales requisitos se expresan en valores de tensión y frecuencia que deben ser mantenidos dentro de los rangos de tolerancia admisibles.

Es además conocido que este producto (*energía eléctrica*) debe entregarse en forma instantánea al usuario o consumidor final. Por otra parte la energía hidráulica que ingresa por la tubería de presión a la sala de máquinas específicamente a los alabes de la turbina hidráulica, lo hace en forma de energía cinética del agua y las cantidades de energía puestas en juego depende del caudal y la altura. La energía cinética del agua se convierte en energía mecánica en el eje de a turbina. La energía mecánica es trasferida a un generador eléctrico, que para mantener las condiciones de potencia, voltaje y frecuencia se debe mantener la velocidad del generador constante.

Para producir está transferencia de energía es necesario además del grupo turbina y generador se debe agregar dispositivos para regular la velocidad de giro entre el eje de la turbina y el generador, además un sistema de regulación para adaptar la potencia hidráulica que se entrega con la potencia eléctrica que se demanda.

El equipamiento electromecánico constituido por turbina-generador y reguladores, se la complementa con las instalaciones eléctricas internas y externas de la sala de máquinas y un tablero de control con registros de tensión, frecuencia y energía suministrada a la red o para el uso que se lo vaya a dar (*Ver figura 1.10*).



Figura 1.10 Equipo Electromecánica



Si bien es cierto que las obras civiles de la casa de máquinas son muy sencillas, hay que prestar mucho cuidado al sistema de drenaje de las agua turbinas para determinar un sistema adecuado para evitar inundaciones en la sala de máquinas.

1.4 UBICACIÓN DE LA MICRO CENTRAL.

La zona de estudio se ubica en la región Oriental, en las estribaciones orientales de la Cordillera Oriental en la provincia de Napo, cantón Archidona, parroquia Cotundo. El acceso a la zona del proyecto se realiza por la vía al poblado Wuamani mediante un camino de segundo orden. El sitio de la micro central se localiza a 29 km. al noreste de Archidona. La distancia aproximada desde el fin de la vía hasta el sitio de las obras es de 600 m. El transporte de equipos, materia prima, personal, alimentos, etc, se lo podrá realizar mediante el uso de vehículos de doble transmisión y para lo cual es necesario reacondicionar el camino alrededor de 2.8 km de longitud⁴.

La ubicación del proyecto Pucuno se realizará en las cercanías del poblado llamado Wuamani con aproximadamente 120 lotes con 40% de viviendas habitadas sin conexión eléctrica, la generación hidroeléctrica de 120 kW, bien podrá alimentar eléctricamente a la población y desarrollar procesos productivos en la misma.

La ubicación cartográfica del proyecto Pucuno se lo puede visualizar más detalladamente en la *figura 1.11*.

⁴ Estudios de Pre-Factibilidad. Diseños de Obras Civiles. Archivos del Consejo Provincial del Tena.

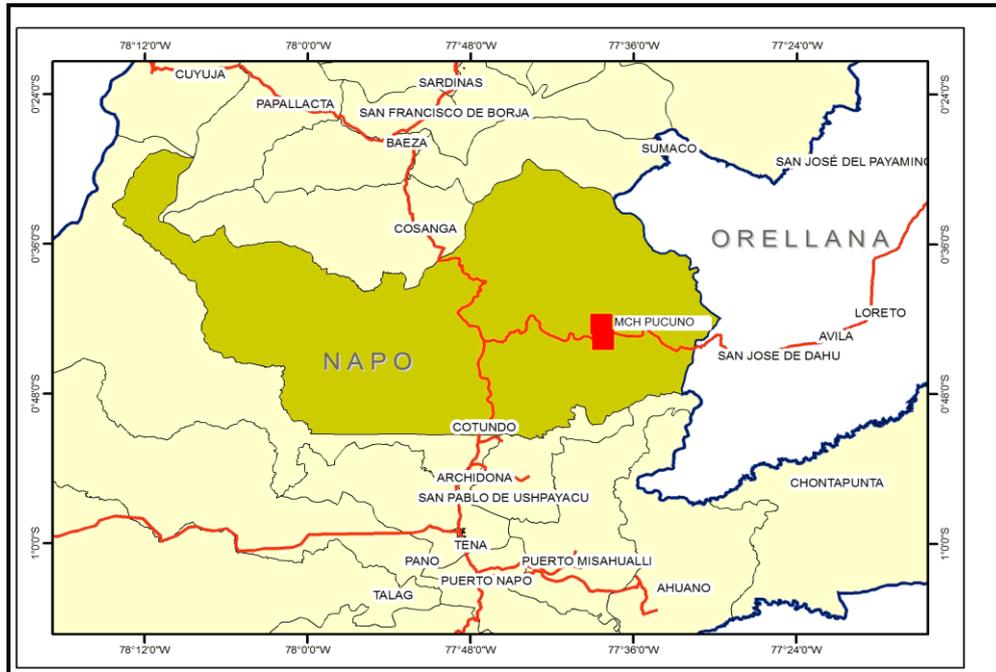


Figura 1.11 Ubicación MCH Pucuno

Fuente: Cartografía 1:250 000 IGM

Elaborado: Consorcio ESAE

El área de estudio está cubierta por la carta topográfica de Pavayacu, escala 1:250 000, de distribución libre. No existen cartas nacionales a menor escala. El potencial hidroeléctrico a ser aprovechado procede del río Pucuno. El área aproximada de la cuenca hidrográfica asciende a 52 km². Dicho río corre en dirección sur, es afluente del río Hollín y pertenece a la cuenca del Napo⁵.

La captación se ubica en las coordenadas X=211875 y Y=9921255, donde se ubicará una derivación aproximadamente igual al caudal de diseño de la turbina. Las aguas serán descargadas después de aproximadamente 200 m aguas abajo del mismo río. Los datos obtenidos se recopilaron de los diseños de obras civiles cuyos archivos reposan en la Dirección de Obras Públicas de la Prefectura del Tena⁶.

⁵ Estudios de Pre-Factibilidad. Diseños de Obras Civiles. Archivos del Consejo Provincial del Tena.

⁶ Estudios de Pre-Factibilidad. Diseños de Obras Civiles. Archivos del Consejo Provincial del Tena.



Para controlar el ingreso de material sólido hacia el canal, se ha previsto la construcción de una captación convencional con cierre fijo con un umbral con perfil hidrodinámico, canal de purga para limpieza, estructura de ingreso. El agua captada ingresará al canal, que durante el tramo tiene un primer vertedero de excesos, para caudales excesivos que ingresen en épocas de crecidas ubicado a 314 m desde la captación luego un segundo vertedero de excesos previo a la estructura de desarenación, y finalmente el caudal que será turbinado en la micro central río Pucuno.



Río PUCUNO, Ubicación de la toma

La casa de máquinas se ubicará al pie de la cascada sin nombre ubicada a 1800 Km, en las coordenadas $X= 212700$ y $Y=9920000$, como se indica en la *figura 1.12*, aguas debajo de la captación, esta será del tipo convencional, contará con los equipo electromecánicos donados por el EX-INECEL, y además con equipo de control, protección y medición eléctrica de última tecnología y completamente electrónico.

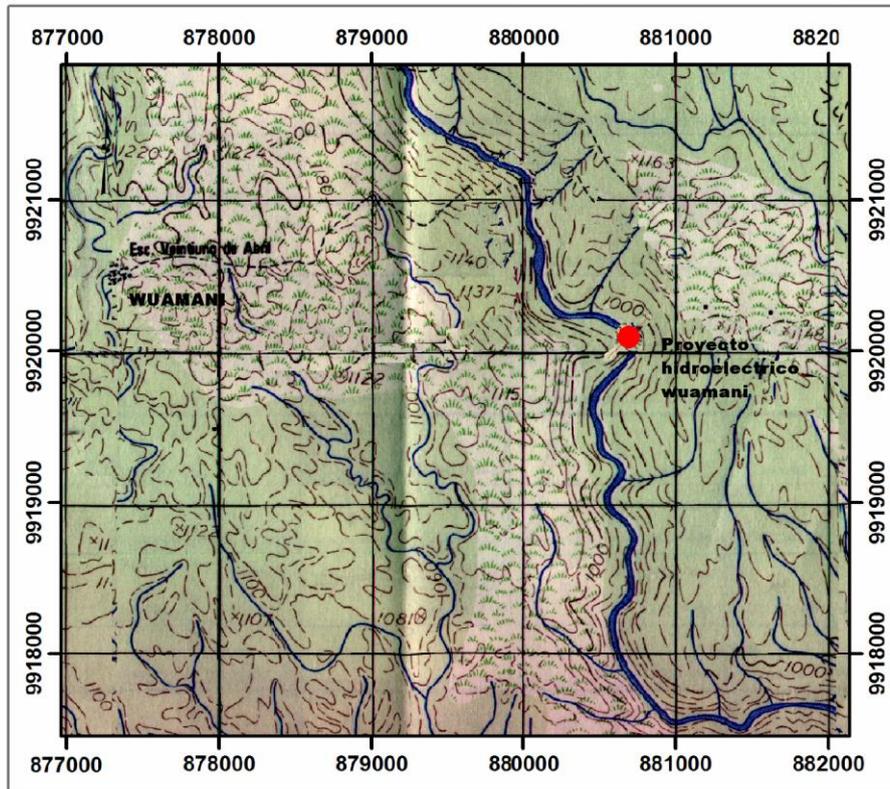


Figura 1.12 Proyecto Hidroeléctrico Pucuno
Río PUCUNO, Ubicación de casa de máquinas

La subestación de transformación tiene una potencia de 160 kVA, es tipo convencional de 220/440/13800 V, estará ubicada en las mismas coordenadas que la casa de máquinas es decir $X= 212700$; $Y=9920000$ y un nivel de 1000 msnm, la línea de transmisión será llevada desde ésta ubicación hasta la zona más cercana al camino de segundo orden que accesa a la zona ecológica con el objetivo de conducir la línea paralelamente por éste camino, está se encuentra a 1115 y 1000 msnm (*metros sobre el nivel del mar*), entre estas dos zonas existe una distancia de 750 m.

1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MICRO CENTRAL.

1.5.1 Descripción de las Obras Civiles.

La micro central hidroeléctrica Pucuno de 120 KW, se encuentra esquemáticamente constituida por las siguientes obras: captación, un azud de derivación de perímetro 3

m de ancho, 10 m de longitud y 0,7 m de altura capaz de derivar $0.4 \text{ m}^3/\text{seg}$, contará con una reja de entrada de 0.5 m de altura y base de 1.10 m, la misma que tendrá 7 barras de hierro, a la salida de la rejilla se colocará un desrenador de 1 m de ancho y 2m de longitud.

Para regular y mejorar la captación del caudal desde el río Pucuno, a unos 2 kilómetros aguas arriba del tramo para la generación de la Micro central Pucuno, se construirá una obra de toma de rejilla lateral, un umbral fijo de cierre, canal de purga, y muros laterales, apropiada para cursos naturales con pendiente en tramo intermedio y cauces bien definidos. Las características del río en donde se colocará la obra de captación se observa en la **foto 1.1**. La sección seleccionada para implantar la obra de toma se ubica dentro de un tramo relativamente convexa y con una geometría rectangular.



Foto 1.1

La sección de implantación seleccionada para la obra de toma se ubica a 60 m aproximadamente aguas abajo del Puente; el tramo del río se desarrolla con una pendiente longitudinal aproximada del 2.21%. En el sitio seleccionado, la sección transversal del río es regular con un ancho aproximado de 20 m. En la fotografía 11 se observa la buena calidad de agua que circula por el río, así como la presencia de material en el fondo relativamente grueso. Las características observadas corresponden a la época en que circulan caudales normales. Durante las crecidas el incremento de



caudal así como la pendiente del cauce permiten el arrastre de material sólido, principalmente arenas y cantos rodados de menor tamaño. Este material es el que no debe ingresar hacia el canal⁷.

Para la conducción se contará con un canal de hormigón de 1800 m de longitud, 1 m de base y 1.2 m de altura colocado en el flanco derecho del río Pucuno, al final de la conducción se tendrá un tanque de presión con un volumen útil de 30 m³, donde se conectará la tubería de presión de diámetro 0.4 m, donde se tendrá una velocidad del área transversal de 6.4 m/seg, cuya altura bruta es de 51 m y altura neta 49.47 m.

La sección transversal de la conducción es variable comenzando por una conducción con tubería de alcantarillado PVC, y luego con secciones del canal rectangular variables hasta el tramo de aproximación en el tanque de carga con dimensiones 0.70 x 0.60 m. El caudal máximo en el primer tramo se prevé del orden de 800 l/seg para la crecida máxima, el tubo a capacidad máxima con una carga inicial de 2.50 m.

El desarenador tiene como objetivo separar y remover el material sólido arrastrado por el flujo del canal, con tamaños iguales o mayores a 0.15 mm, de tal manera de garantizar la vida útil prevista para la tubería de presión y la turbina.

El tanque de presión cumplirá con los siguientes objetivos:

- 1) Proporcionar la conexión necesaria entre la tubería de presión y las obras de derivación desde el canal de conducción.*
- 2) Garantizar un volumen de reserva de agua para satisfacer las necesidades de la turbina.*
- 3) Impedir el ingreso hacia la tubería de presión de materiales sólidos o flotantes*
- 4) Mantener sobre el inicio de la tubería de presión una altura de agua suficiente para evitar el ingreso de aire.*

⁷ Estudios de Pre-Factibilidad. Diseños de Obras Civiles. Archivos del Consejo Provincial del Tena.



Para cumplir con estos objetivos el tanque de presión estará conformado por los siguientes elementos:

- a) **Control para evitar la entrada de aire a la tubería de presión.** Con el fin de garantizar que el aire no pueda ser succionado desde el tanque de presión hacia la tubería de presión, se define el nivel mínimo de operación. Atendiendo a las recomendaciones existentes en la literatura técnica existen⁸.
- b) **Volumen del Tanque de Presión.** Para el caso en que el caudal sea menor que el caudal turbinado por la micro central, la diferencia de caudales debe ser cubierto por el volumen almacenado en el tanque de presión.

Sin embargo, el volumen de retención disponible no es suficiente como para mantener la operación de la micro central durante un tiempo mayor a los 20 segundos, en caso de una suspensión total del caudal. Se recomienda por lo tanto que para evitar problemas mayores durante la operación, se instale sensores de medición de nivel mínimo en el tanque de presión, los mismos que deberán emitir una señal que ordene la suspensión inmediata de la turbina tan pronto como se detecte una disminución de nivel en el tanque de presión por debajo de este nivel mínimo.

La tubería de presión es el elemento que permite la conducción del agua desde el tanque de carga hasta la casa de máquinas. Mientras mayor es el diámetro, menores son las pérdidas hidráulicas que se generan en la tubería y mayor es la potencia que se puede obtener del salto.

Por otro lado, mientras menor es el diámetro, el costo de la tubería será menor. En este caso no amerita el cálculo de un diámetro más económico, ya que la tubería se tiene en Stock en las bodegas del Consejo Provincial del Tena.

⁸ Knouss José. SWIRLING FLOW.

La casa de máquinas será del tipo convencional con todos los servicios ubicada en una área de 7 m x 6 m, donde se colocará una turbina tipo Francis de 127 kW, y un generador de 120 kW equipos que fueron donados y están en perfectas condiciones de funcionamiento, los cuales estarán totalmente protegidos, controlados y medidos con equipos electrónicos y automáticos⁹.

1.5.2 Descripción eléctrica.

Básicamente la micro central hidroeléctrica PUCUNO estará conformada por los siguientes elementos electromecánicos y obras eléctricas:

– *GENERADOR.*

El generador es sincrónico trifásico de rotor de polos salientes, es el que se indica en la grafica, la potencia nominal a régimen continuo es 120 Kw, conexión estrella (*Ver figura1.13*), con disposición de eje horizontal, voltaje nominal de 220 / 440 V, factor de potencia 0.8, frecuencia 60 Hz, velocidad de 900 r.p.m.



Generador Sincrónico

⁹ Los equipos se encuentran almacenados en las Bodegas del Consejo Provincial del Tena.

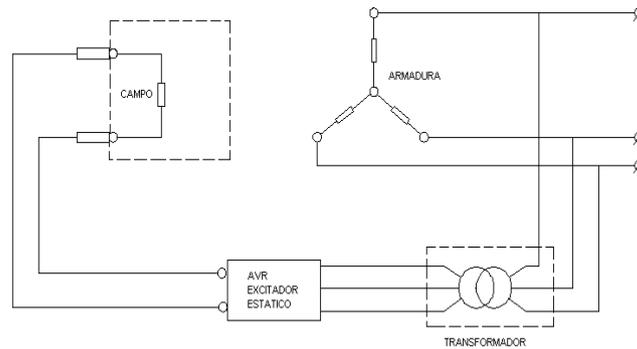


Figura 1.13 Conexión de un excitador estático a un generador

– **TURBINA.**

La turbina es tipo Francis de una velocidad de rotación de 900 r.p.m, una potencia nominal en régimen continuo de 127 Kw, eje horizontal.

– **TRANSFORMADOR.**

El transformador es trifásico de 160 KVA de potencia nominal, es el indicado por la grafica, se ubicará en la subestación elevadora, tiene un voltaje en el primario de 440 V y 13,200 V en el secundario, taps de de 5 posiciones, conexión Ydn5 como se puede observar en la *figura 1.14* y una impedancia del 4 %.



Transformador de Potencia

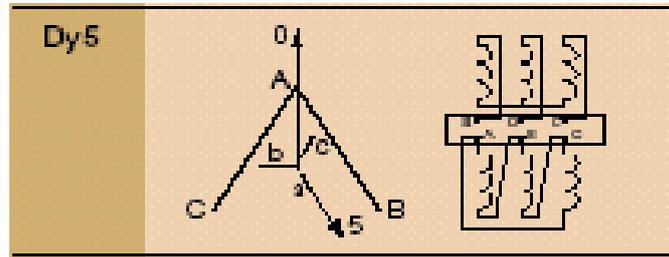


Figura 1.14 Conexión Dy5 del Transformador de Potencia

- **EQUIPO DE CONTROL.**
- Un motor eléctrico trifásico de corriente alterna, utilizado como bomba de aceite del sistema hidráulico de velocidad.
- Una válvula electromagnética de 110 VDC, instalada en el circuito hidráulico del regulador de velocidad, que se accionará con las protecciones de la central.
- Dos micro motores de corriente continua de 110 V, que permitirá controlar remotamente desde el tablero de control del generador, que permitirá la apertura y cierre de los alabes de la turbina y ajustará la velocidad de la turbina.
- Tablero de distribución general o principal, para la casa de máquinas, el que cuenta con los disyuntores de protección tanto para iluminación como para las salidas de fuerza.
- Tablero de servicios auxiliares, compuesto en su interior de señales luminosas, pulsadores de mando, disyuntores de caja moldeada, contadores, fusibles, protecciones térmicas, etc., que componen los circuitos eléctricos de control del motor de la válvula de entrada de agua de la turbina, la bomba de aceite y del motor del péndulo del regulador de velocidad.
- Tablero de control del generador, se compone de los aparatos de medida para el control y registro de los parámetros eléctricos de funcionamiento del generador de la micro central, así como también los transformadores de corriente y voltaje.



El tablero dispondrá de un disyuntor de carga del generador, señales luminosas del estado de funcionamiento de los equipos complementarios de la central, pulsadores de mando para operación remota del disyuntor de carga, para paradas de emergencia, perillas para el comando y control de operación remota de apertura y cierre de los álabes de la turbina.

- Tablero de señalización y distribución de corriente alterna, está compuesto por señales luminosas, pulsadores de mando, disyuntores, contadores, fusibles, protecciones térmicas de control de los alimentadores, que parten de las barras de baja tensión de la central.
- Tablero de corriente continua, se compone de aparatos de medida de corriente y voltaje, señales luminosas de alarma de las protecciones que dispone el equipamiento electromecánico, relés auxiliares, fusibles de protección y selectores de los circuitos de control, e iluminación que trabaje con corriente continua.

Adicional a los diseños y trabajos antes mencionados, se realizará una línea de sub transmisión, la cual partirá desde la estructura que más adelante se llegue a determinar con el desarrollo de este estudio de investigación. Como el proyecto de diseño es totalmente integral, cuenta también con un sistema de distribución, el cual abastecerá a la población de Wuamani, con 120 lotes con un 40% de viviendas habitadas, esta distribución se basará en la distribución en media y baja tensión, con el cálculo de sus protecciones y su selección adecuada, basándose en las normas, que en el desarrollo de este diseño se las especificará.



CAPITULO II

DISEÑO ELECTRICO DE LA CASA DE MÁQUINAS

2.1 DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DE LA CASA DE MÁQUINAS.

La casa de máquinas es una estructura civil que alberga la mayor parte del equipo electromecánico, es donde se efectúa el proceso de transformar la energía cinética del agua en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica. Por ello, su ubicación es muy importante para el buen funcionamiento de la central, para lo cual se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- *Debe colocarse cercana al afluente al cual se le entregará el agua turbinada.*
- *Se ubicará en una zona con terrenos estables.*
- *Prever una posible ampliación, porque no es la máxima potencia que se puede obtener del caudal.*
- *Facilidad de acceso.*
- *Facilidad de adquirir el terreno y en buenos costos.*

El diseño de la casa de máquinas debe realizarse en función de la posición del eje del grupo turbina-generador. Este puede ser horizontal o vertical. En proyectos de micro centrales hidroeléctricas el grupo de eje horizontal ofrece muchas más facilidades para su montaje y mantenimiento, de ahí que es el más utilizado. Algunas de sus características se mencionan a continuación:

- *Cojinetes normales.*
- *Transmisión directa por acoplamiento a ejes horizontales a los que se transmita el movimiento.*
- *Inspección fácil, ya que todos los elementos están a la misma altura.*



- *Las cimentaciones son de mayor extensión superficial.*
- *Suelen compensar el movimiento de inercia del grupo con un volante acoplado a su eje.*

Al ser una obra civil de Micro Generación Hidroeléctrica, el proyecto PUCUNO contará con una instalación del tipo convencional a filo de río del tipo eje horizontal, la cual estará sujeta a normas y reglamentos.

Arquitectónicamente la casa de máquinas se diseñará con las áreas necesarias para la comodidad de equipos y personal, tomando en cuenta todas las normas de construcción y seguridad que este tipo de edificaciones lo requieran.

Las obras civiles que se realizarán son.

- *Patio de elevación.*
 - *Local de máquinas.*
 - *Baño.*
 - *Oficina.*
- **Plano Arquitectónico.**

Los planos arquitectónicos de la casa de máquinas se los pueden observar a continuación.



2.1.1 Condiciones Técnicas de la Obra Civil de la Casa de Máquinas.

a) Emplazamiento.

El lugar elegido para la construcción de la casa de máquinas debe permitir el adecuado acceso para la colocación y desmontaje de los equipos electromecánicos (*turbina-generador*) que son en este caso los más pesados de la micro central. Los accesorios que van a ser colocados en el interior de la casa de máquinas tendrá las dimensiones adecuadas para permitir el paso de dichos equipos que por su volumen necesitan de espacio para su manipulación en caso de necesitarlo. El emplazamiento o lugar donde se construirá la casa de maquinas debe ser de tal manera que se encuentre protegido de posibles inundaciones y eventuales deslaves. Para mayor seguridad de la instalación se ha recomendado realizar canales de desagüe alrededor de la casa de máquinas protegidos por rejillas de hierro, diseñadas de tal manera que se proteja adecuadamente las instalaciones y sobre todo los equipos electromecánicos. La casa de máquinas debe ser construida en su totalidad con materiales no combustibles.

b) Cimientos.

Se realizarán con hormigón dosificado a razón de 250 Kg/m^3 y el mortero de capa a razón de 600 Kg/m^3 (*Según los Estudios de Obras Civiles*)¹⁰ y tendrán una profundidad de 1.0 m y un ancho de 0.40 m por lo que se tomaran las medidas necesarias para la estabilidad de la edificación¹¹.

c) Base o piso.

El piso de la edificación será de hormigón armado apoyado sobre los cimientos y descansando sobre una delgada capa de arena y ripio. Dicha base estará cubierta por

¹⁰ Estudios de Pre-Factibilidad. Diseños de Obras Civiles. Archivos del Consejo Provincial del Tena
Página - 110

¹¹ Idem. Referencia 10. Página – 110.



otra capa de de cemento alisada. El hormigón estará dosificado a razón de 250 Kg/m^3 y el mortero de capa a razón de 600 Kg/m^3 . Se preverá, en lugares apropiados de la casa de máquinas orificios destinados para el paso del interior al exterior de los cables de la malla de puesta a tierra, así como canales para interconectar los cables de baja y media tensión. Los orificios y canales se encontraran a una profundidad mínima de 0.40 m del suelo. También se preverán los agujeros adecuados para la sujeción de los herrajes de los equipos electromecánicos. Los lugares de paso de los canales estarán cubiertos de losas o tapas móviles basándose en las normas de la EEQSA en la parte B, en su sección B-70 (*Redes Subterráneas*) de la Guía de Diseño¹².

d) Estructuras de soporte.

La estructura de soporte o columnas de la edificación serán internamente de cadenas de hierro y recubiertas de hormigón dosificado a razón de 250 Kg/m^3 de una altura de 4.0 m. Las columnas se unirán una con otra mediante estructuras metálicas llamadas cadenas de 6.0 m de largo y 0.10 m ancho recubiertas con pintura de una calidad adecuada para evitar oxido y corrosión.

e) Mampostería (Paredes).

Los muros de la casa de máquinas serán de ladrillo macizo de un espesor de 15 cm, revestidos interna y externamente por cemento Portland. El acabado interior será liso y preparado para ser recubierto de pintura de la calidad y color que se adapte al medio ambiente.

f) Cubierta o techo.

La cubierta se la realizará con planchas de zinc de hormigón de 3.0 m de largo y 1.20 m ancho de forma que las instalaciones en su interior queden debidamente protegidas de

¹² Empresa Eléctrica Quito S:A, Normas para Sistemas de Distribución- Parte B- Guía para Diseño- Quito .Sección B-70. Página 272



alguna filtración de agua, sujetas a la estructura metálica con pernos adecuados para este trabajo. En sus alrededores se colocara canales para permitir el deslizamiento del agua lluvia. En su interior no es necesario realizar ninguna obra de recubrimiento. La cubierta está diseñada para soportar una sobrecarga de 100 Kg/m^3 .

g) Ventilación.

Normalmente se recurrirá a la ventilación natural que consistirá en una o varias ventanas situadas de tal manera que permita una adecuada circulación de aire, colocadas a una distancia de 1.20 m del nivel del suelo como mínimo.

h) Puertas de acceso a la casa de máquinas.

Las puertas se las construirán de material metálico recubiertas de pintura anticorrosiva para evitar el óxido de dimensiones adecuadas para permitir el ingreso de los equipos electromecánicos.

i) Ubicación de los Equipos.

Como se hizo referencia en el numeral 1.5 del Capítulo I (*Descripción eléctrica – Generador*), se explica el tipo de generador, lo cual da la pauta para la ubicación de los equipos. Otro dato importante para dicha ubicación es el ingreso de la tubería de presión a la casa de máquinas, lo que indica la posición de la turbina hidráulica, así por donde se realizaran los trabajos de restitución del agua turbinada. La ubicación de los equipos hace parte del plano de emplazamiento descrito a continuación.

2.1.2 Equipo electromecánico básico de la casa de máquinas.

Los equipos principales que se recomienda ubicar en una casa de máquinas y en particular en la micro central hidroeléctrica PUCUNO de 120 Kw son los siguientes:



- *Turbina.*
- *Generador.*
- *Regulador de velocidad.*
- *Volante.*
- *Sistema de transmisión.*
- *Válvula de entrada de agua.*
- *Tableros de control y protecciones.*
- *Equipos de subestación elevadora.*

Los equipos electromecánicos más comunes que conforman una casa de máquinas se los puede ilustrar en la *figura 2.1*.



Figura 2.1 Componente de la casa de máquinas



2.1.3 Sistema eléctricos de Iluminación y Fuerza.

– *Generalidades*

Los sistemas de iluminación y fuerza de la casa de máquinas lo constituyen el alumbrado interno y externo, así también los tomacorrientes instalados en su zona interna.

Las instalaciones estarán protegidas y controladas por disyuntores termo magnéticos de la capacidad adecuada, en función de la carga de cada circuito de iluminación o fuerza, instalados en el tablero principal de distribución.

Los conductores a utilizar para estas instalaciones serán aislados para 600 Voltios y los calibres no serán menores al 14 AWG, en caso de los circuitos de iluminación y 12 AWG y 10 AWG, para el caso de circuitos de tomacorrientes. El calibre número 8 AWG se utilizará para la alimentación (*acometida*) del tablero distribución de las instalaciones.

En general, la ejecución de las instalaciones eléctricas de la casa de máquinas, estarán condicionadas al tipo de construcción y destino del inmueble¹³, en el diseño se tomarán en cuenta las normas que se indique en el ***CODIGO ELECTRICO ECUATORIANO***, normas Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A y B Guía para Diseño, otros manuales de diseños eléctricos y normativas de uso común.

– *Iluminación interna de la casa máquinas*

En el plano de diseño de obras civiles de la MCH, se puede observar que el interior de la casa de máquinas se subdivide en las aéreas de oficinas, baños, local de máquinas y patio de maniobras.

¹³ Ver literal 2.1.1 (Condiciones técnicas de las obras civiles de la casa de máquinas)



Por esta razón el cálculo de la iluminación puede realizarse por cada zona, ya que en cada área se desarrolla diferentes actividades. En razón de que la mayoría de aéreas de la casa de máquinas de la micro central son pequeñas, vamos a centrarnos en el área del local de máquinas que es el área más grande y de mayor importancia.

Datos importantes para el diseño:

- *Dimensiones del área a iluminar.*

$$\text{Longitud (L)} = 7 \text{ m}$$

$$\text{Ancho (a)} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Altura (H)} = 4 \text{ m}$$

Entonces:

$$\text{Área} = \text{longitud} * \text{ancho} = L * a$$

$$\text{Área} = 7 \text{ m} * 6 \text{ m} = 42 \text{ m}^2$$

- *Altura de las luminarias sobre el plano de trabajo.*

$$h = H - 1.5 \text{ m}$$

$$h = 4 - 1.5 \text{ m}$$

$$h = 2.5 \text{ m}$$

- *Color del techo.*

Gris claro

$$\text{Factor de reflexión} \rightarrow 0.5$$

- *Color de las paredes.*

Blanco

$$\text{Factor de reflexión} \rightarrow 0.5$$

- *Color del `piso.*

Hormigón claro



Factor de reflexión → 0.3

- *Iluminación media recomendada.*

$$E_m = 200 \text{ lux}$$

- *Tipo de lámpara.*

Vapor de mercurio de 175 w / 220 V; debido a su alto rendimiento luminoso, larga vida útil, bajo mantenimiento y tipo de color de luz.

- *Flujo luminoso de la lámpara.*

$$F_L = 8400 \text{ lumens}$$

- *Tipo de luminaria.*

Extensiva con reflector de aluminio

- Sistema de alumbrado.

Predominante directo, como el más adecuado para este tipo de actividad¹⁴.

- El factor de conservación.

$F_c = 0.75$, previendo tener una buena conservación y un adecuado mantenimiento de las luminarias.

Procedimiento de cálculo:

$$\text{Índice del local } K = L * a / h (L + a)$$

$$\text{Índice del local } K = 7 \text{ m} * 6 \text{ m} / 2.5 \text{ m} (7 \text{ m} + 6 \text{ m})$$

$$\text{Índice del local } K = 0.4$$

Utilizando los datos de los factores de reflexión del techo, pared, piso, índice del local y la curva de distribución luminosa respectivamente, en la tabla antes mencionada del manual OSRAM, se encuentra que el rendimiento del local es:

$$n_R = 0.58$$

¹⁴ Manual OSRAM. Curva de distribución luminosa. Tabla 20-4



El rendimiento de la luminaria¹⁵; $n_L = 0.77$

Entonces el rendimiento de iluminación se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$n = n_R * n_L$$

$$n = 0.58 * 0.77$$

$$n = 0.447$$

El flujo luminoso total se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$F_t = E_M * S / n * fc$$

$$F_t = 200 \text{ lux} * 108 \text{ m} / 0.45 * 0.75$$

$$F_t = 24888 \text{ lm}$$

Entonces el número de luminarias se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$N = F_t / F_L$$

$$N = 24888 \text{ lm} / 8400 \text{ lm}$$

$$N = 2.962 \text{ luminarias}$$

Según los cálculos realizados da como resultado 2.962 luminarias, esto quiere decir que se ubicarán 3 luminarias de 175 w / 220 V para la casa de máquinas. En cuanto a las otras aéreas se ha considerado utilizar iluminación incandescente de 100 w / 110 V, adecuadas para aéreas pequeñas, en razón a la importancia y actividades que en estas zonas se van a realizar, las cuales se encontraran debidamente ubicadas y con las dimensiones adecuadas, lo cual se refleja claramente en el plano de las instalaciones eléctricas internas de la casa de máquinas.

¹⁵ Dato obtenido en los catálogos del fabricante.

– *Iluminación externa de la casa máquinas*

Para la iluminación externa no se utiliza formulas o métodos de cálculo, para definir el alumbrado externo del perímetro de la casa de máquinas y de la subestación elevadora, debido a que las longitudes y aéreas son relativamente pequeñas, razón por la cual se ha recomendado utilizar luminarias de alumbrado público del tipo cerrado es lo recomendado para este tipo de instalaciones¹⁶.

El tipo de luminaria elegida para iluminación periférica de la casa máquinas y el área de la subestación, tanto por su reproducción de colores y generalizada utilización, especialmente en alumbrado público, corresponde a la luminaria con lámpara de vapor de mercurio de 125 W / 220 V, tipo cerrado, con brazo adecuado y accesorios de montaje en postes y pared, como se muestra en la **figura 2.2**.

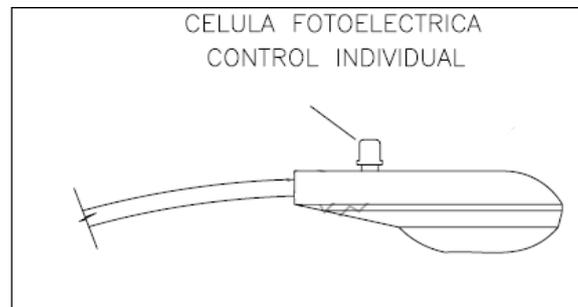


Figura 2.2 Lámpara de vapor de mercurio.

Las luminarias de alumbrado externo se las ubicará en las paredes de la Micro Central Hidroeléctrica, con la adecuada distribución para optimizar lámparas y obtener una iluminación homogénea en la periferia de las instalaciones, adicionalmente se instalara una lámpara en la estructura de salida de la subestación y donde empieza la línea de sub distribución, lo cual se refleja claramente en el plano de las instalaciones eléctricas externas de la casa de máquinas.

¹⁶ Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte B Guía para Diseño – Sección B – 60 (Alumbrado Público).

La alimentación de estas luminarias se las realizará con un conductor aislado con una capacidad de 600V y un calibre número 8 AWG y protegido con un disyuntor termo magnético Bifásico de capacidad de 10 Amperios, ubicado en el tablero de distribución principal.

– *Iluminación de emergencia*

Para la iluminación de emergencia, no hay una normativa específica en cuanto al tipo y ubicación, en el caso puntual que es motivo de este diseño se consideró una lámpara de emergencia de dos luces dirigibles hacia el lugar que se desea iluminar (180°), de fácil instalación (*incluye sistema de montaje*), carcasa termoplástica (*color blanca*) resistente a impactos, su operación es completamente automática y permite 90 minutos de respaldo (*Ver figura 2.3*).

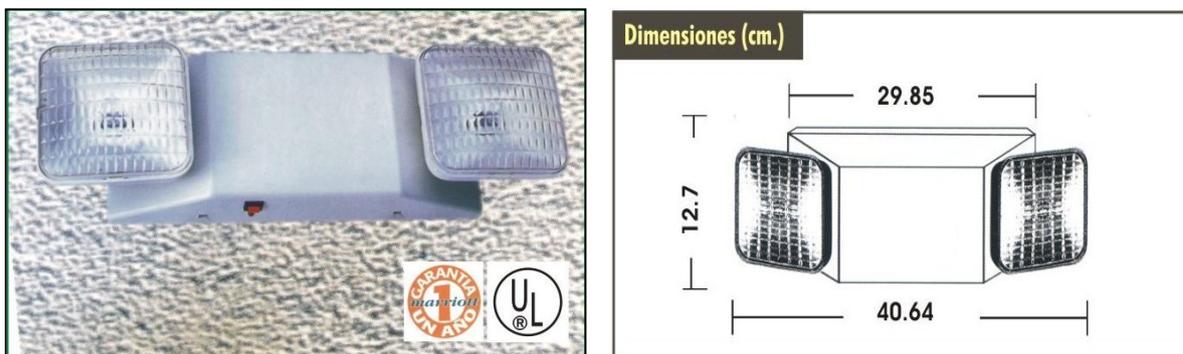


Figura 2.3 Lámpara de Emergencia convencional

Las características técnicas son¹⁷:

- *Doble voltaje 120 / 277 voltios.*
- *Dos focos incandescentes de 5,4 vatios (37,60 lumenes cada foco)*
- *Batería de 6V recargable, libre de mantenimiento.*

¹⁷ Datos tomados en los catálogos de la marca Itelight (Word Quasliity Products)- Distribuidor en Ecuador.

Adicional a la iluminación de emergencia se colocara señalización de emergencia, el tipo será de carcasa de aluminio, con un panel acrílico con letrero biselado para máxima reflexión de luz diseño compacto con doble señalización, letras de SALIDA rojas, para una colocación en pared y una vida útil de 25 años, adecuadas para este tipo de instalaciones (*Ver figura 2.4*).

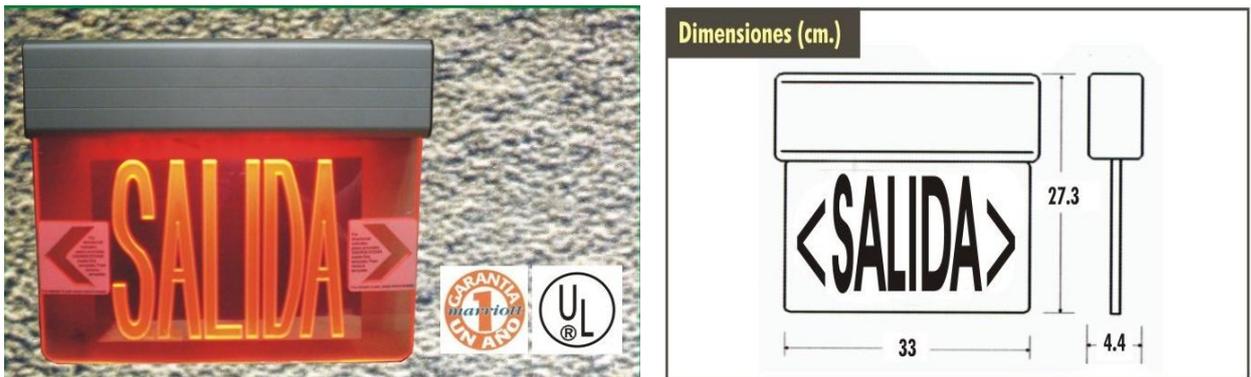


Figura 2.4 Lámpara de señalización convencional.

Las características técnicas son¹⁸:

- *Doble voltaje 120 / 277 voltios.*
- *Iluminación a través de led con consumo de energía de menos de 3 wattios.*
- *Batería de 6V recargable, libre de mantenimiento.*

La alimentación de las luminarias y señalización se las realizará con un conductor aislado con una capacidad de 600V y un calibre número 14 AWG y protegido con un disyuntor termo magnético monofásico de capacidad de 10 Amperios, ubicado en el tablero de distribución principal. Las lámparas se encuentran debidamente ubicadas y con las dimensiones adecuadas, lo cual se refleja claramente en el plano de iluminación de emergencia de la casa de máquinas.

¹⁸ Idem – referencia 17.



– *Circuitos de fuerza de la casa máquinas*

Se ha establecido que para toda salida de tomacorrientes, se considere una carga mínima de 200 W. La ubicación de los tomas depende de las estimaciones de uso y requerimientos futuros en las diversas aéreas de trabajo de la micro central, por lo que en la zona de tableros de control y protección se ha previsto instalar la mayoría de salidas de fuerza, mientras que en el resto de aéreas serán ubicadas dependiendo de la necesidad.

La alimentación de los circuitos de fuerza se las realizará con un conductor aislado con una capacidad de 600V y un calibre número 12 AWG y 10 AWG y protegido con disyuntores termo magnético monofásico de capacidad de 10 Amperios, como elementos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos de los alimentadores de los diversos circuitos eléctricos, estas protecciones estarán ubicadas en el tablero de distribución principal. La localización y dimensiones adecuadas, se refleja claramente en el plano de las instalaciones eléctricas de fuerza de la casa de máquinas.

2.1.4 Procedimiento de cálculo de protecciones para iluminación y fuerza.

– *Luminarias de luz de mercurio tipo industrial de 175 W / 220 V*

$$I = P (w) / V * \cos \emptyset$$

$$I = (175 w * 3) / 220 V * 0,9^{19}$$

$$I = 525 / 198$$

$$I = 2.65 \text{ Amp}$$

– *Luminarias de luz de mercurio para alumbrado de 125 W / 220 V*

$$I = P (w) / V * \cos \emptyset$$

¹⁹ La EEQSA recomienda un factor de potencia lo más aproximado a uno para efectos de diseño se asume un valor de 0.9.



$$I = (125 \text{ w} * 4) / 220 \text{ V} * 0.9$$

$$I = 500 / 198$$

$$I = 2.5 \text{ Amp}$$

- *Luminarias incandescentes 110W / 110 V*

$$I = P (\text{w}) / V * \cos \emptyset$$

$$I = (100 \text{ w} * 3) / 110 \text{ V} * 0.9$$

$$I = 300 / 99$$

$$I = 3.03 \text{ Amp}$$

- *Iluminación y señalización de emergencia*

$$I = P (\text{w}) / V * \cos \emptyset$$

$$I = (5.4 \text{ w} * 3) / 110 \text{ V} * 0.9$$

$$I = 16 / 99$$

$$I = 0.16 \text{ Amp}$$

- *Circuito No 1 de tomacorrientes*

$$I = P (\text{w}) / V * \cos \emptyset$$

$$I = (200 \text{ w} * 8) / 110 \text{ V} * 0.9$$

$$I = 1600 / 99$$

$$I = 16.16 \text{ Amp}$$

De acuerdo con los resultados obtenidos se decide que para los circuitos de iluminación se adoptaran protecciones termo magnéticas de una capacidad de 10 amperios y para los circuitos de tomacorrientes de una capacidad de 16 amperios, que son los valores indicados en el rango de protecciones de la marca SQUARE-D.



2.2 DISEÑO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL GENERADOR.

2.2.1 Parámetros e información básica para el diseño.

La información principal o básica requerida para realizar el diseño de los sistemas eléctricos para una mini central hidroeléctrica son básicamente los siguientes:

- a) *Parámetros e información eléctricos.*
- b) *Información del equipo mecánico.*
- c) *Información de obras civiles.*

2.2.1.1 Parámetros e información eléctricos.

Los siguientes son los aspectos más importantes, referentes a Ingeniería Eléctrica, que se requieren conocer, con anticipación para realizar el diseño:

- a) *Estudio de la demanda y características de la carga.*
- b) *Forma de interconexión de la red.*
- c) *Estudio de la resistividad del suelo.*

El estudio de la demanda y características de la carga, es uno de los aspectos fundamentales que se deben realizar antes de la ejecución del diseño de una micro central hidroeléctrica. La determinación de la capacidad que pueda proveer una Micro Central Hidroeléctrica, es el primer paso que se debe seguir en un estudio acerca de una central, sea esta de cualquier tipo. La demanda de la central considerará una proyección a demanda futura, cuyo horizonte en la mayoría de los casos, abarca un periodo menor o igual a la vida útil de la central que según algunas publicaciones del EX-INECEL dan como un periodo mínimo de 25 años. El diseño del estudio de demanda se encuentra calculado en el *Capítulo IV, numeral 4.5.2 (Estudio de carga y demanda)*.

En *figura 2.4* se puede apreciar como forma de ejemplo la demanda típica proyectada a un periodo de 25 años de una zona rural aislada de nuestro país, en donde claramente se puede apreciar que en el periodo mencionado la micro central de 120 Kw se encuentra trabajando en su máxima capacidad.

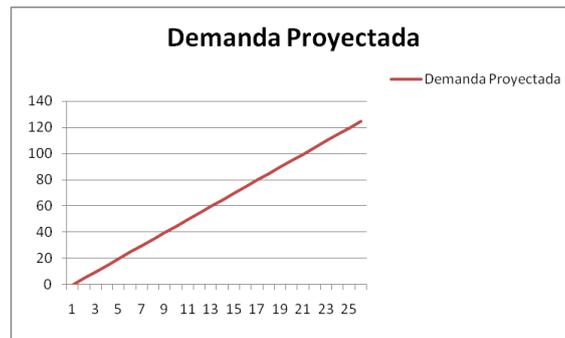


Figura 2.4 Ejemplo de una demanda típica de una zona rural.

Como se puede apreciar en la *Figura 2.4 (Ejemplo de la demanda proyectada)*, donde en la columna de la izquierda se encuentra los Kw y en la fila inferior el tiempo, que en este caso es de 25 años, el gráfico indica que en un periodo de tiempo predeterminado una central hidroeléctrica va a funcionar a su capacidad máxima, esto dependerá directamente del crecimiento poblacional y los procesos productivos; ya que estos influenciarán en el cálculo de la demanda, esto quiere decir que en el diseño es importante tomar en cuenta esta variación de la demanda.

Cuando se establece la capacidad de la central, se puede decir que será la demanda máxima que se impondrá al sistema eléctrico y a partir de este, se establecerá los parámetros de diseño de los equipos tales como:

- *Capacidad y voltaje del generador.*
- *Capacidad y voltaje del transformador de potencia.*
- *Calibres de los conductores.*
- *Capacidad de los interruptores.*
- *Capacidad de los fusibles.*
- *Características de los equipos de medición, etc.*



Dentro de la evolución de la demanda, se determinara un parámetro importante que es el factor de carga, el mismo que se define como la relación entre el periodo de la demanda sobre un periodo de tiempo determinado. Matemáticamente el factor de carga se expresa por la *ecuación (2.1)*²⁰:

$$F_C = \frac{D_p}{D_m} \quad (2.1)$$

Donde:

F_C → Factor de carga.

D_p → Demanda promedio del periodo Considerado.

D_m → Demanda máxima ocurrida en el periodo Considerado.

El factor de carga, es un parámetro que permite al diseñador apreciar claramente la forma de aprovechamiento de la capacidad de la central que tiene una incidencia directa en la económica del proyecto y que además ayuda a establecer la mejor alternativa para seleccionar el tipo de turbina, en función al rendimiento.

Un factor de carga elevado, significa un mayor aprovechamiento de la capacidad de la Micro Central Hidroeléctrica y esto se traduce en una mayor rentabilidad económica.

La determinación de bajos factores de carga, pondrán en sobre aviso al diseñador, sobre la posibilidad de variar la capacidad de la micro central hidroeléctrica a fin de mejorar su funcionamiento y su rendimiento económico de la misma, por medio de control de inversiones o estudiando la posibilidad de instalar un número mayor de unidades de hidro-generación de menor capacidad.

El factor de carga que se analiza en un diseño, se refiere a periodos diarios puesto que para periodos más largos ya sean mensuales, trimestrales, anuales, etc, su valor tiende a decrecer. La demanda máxima de importancia, se refiere al pico diario ocurrido y ese valor se toma en cuenta para establecer la capacidad del generador.

²⁰ OLADE-ITDG Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas. Perú. 1995. Página 13



La forma de interconexión de la central, tanto a los usuarios a servir o su acoplamiento a otros sistemas de generación local regional, es otro de los aspectos técnicos que se debe conocer previo al diseño del proyecto.

En la mayoría de los casos, una micro centrales de generación en su mayoría trabajan alimentando sistemas independientes (*Pequeñas Industrias*) o pequeñas poblaciones rurales aisladas del país, por que se pueden considerar los siguientes aspectos:

- *No es necesario implementar un sistema o equipos de sincronización.*
- *Es recomendable utilizar un generador del tipo sincrónico.*
- *El regulador de voltaje del generador no necesita considerar un su diseño ninguna etapa de compensación de potencia reactiva, debido que no se prevé su funcionamiento en paralelo con otra fuente de energía.*
- *En caso de que sus instalaciones sean muy cercanas del poblado a servirse, la alimentación a los usuarios se la puede realizar directamente en baja tensión, con lo que se ahorraría el equipamiento y construcción para la subestación.*

El estudio de la resistividad del suelo, donde se ubicaran los equipos electromecánicos es otro de los aspectos a considerarse previo al diseño del sistema eléctrico a fin de dimensionar la malla de puesta a tierra de la micro central establecer las corrientes de cortocircuito que se esperan durante una falla y definir el equipo de protección adecuado para las instalaciones.

2.2.1.2 Información del equipo mecánico.

Esencialmente se requieren conocer los siguientes datos del equipo mecánico a ser instalado en la mini central hidroeléctrica.

- a) Tipo de turbina y sistema de transmisión.
- b) Sistema de regulación de velocidad.
- c) Válvula de entrada de agua.

El tipo de turbina, se define a partir del caudal y altura disponibles en el lugar donde se instalara la micro central hidroeléctrica y además tomando en cuenta la potencia máxima a servir en el año horizonte proyectado.

La disposición horizontal o vertical de la turbina y la velocidad de giro son datos importantes a conocer, pues esto tiene relación directa con la definición de las características técnicas del generador. Como se hizo referencia en el numeral 2.1 (*Descripción de la casa de máquinas*) se recomienda la posición horizontal.

Como en el diseño y selección de la turbina intervienen tres factores fundamentales (*caudal, altura y potencia*) se hace muy sencilla la selección del tipo de turbina, la cual se simplifica al diagrama de selección de turbinas hidráulicas, el cual se presenta en la siguiente **figura 2.5**.

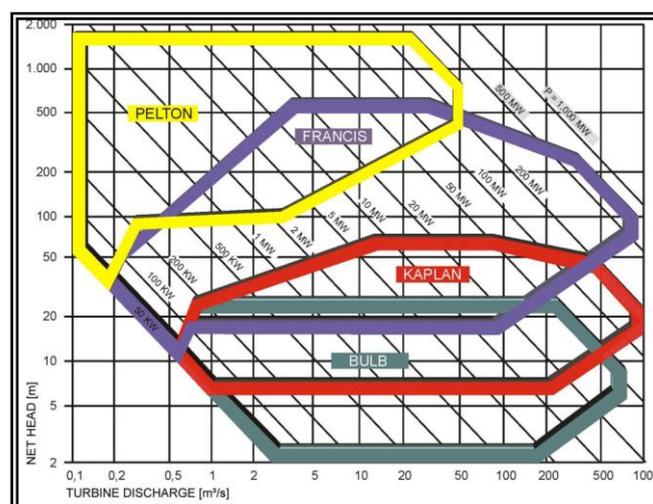


Figura 2.5 Diagrama de selección de turbinas²¹

²¹ Fuente: OLADE-ITDG Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas. Perú. 1995



Para el caso de una turbina tipo Michell-Banky que son las más recomendadas para estos proyectos de pequeña generación, la velocidad de rotación óptima viene dado por la **ecuación 2.2**:

$$N = \frac{39,85^{1/2}}{D_e} \quad (2.2)$$

Donde:

$N \rightarrow$ Número de revolución en de la turbina (r.p.m).

$D_e \rightarrow$ Diámetro externo del rodete en metros (m).

$H \rightarrow$ Altura neta aprovechable en metros (m).

Los generadores síncronos, generan tensiones cuyas frecuencias vienen fijadas por la velocidad de la máquina que la mueve, en este caso una turbina hidráulica, de acuerdo a la siguiente **ecuación 2.3**.

$$N = \frac{2 * 60f}{p} \quad (2.3)$$

Donde:

$N \rightarrow$ Velocidad mecánica de rotación en r.p.m

$f \rightarrow$ Frecuencia del sistema eléctrico en Hz

$p \rightarrow$ Número de polos del rotor.

Observando la formula anterior, se puede fácilmente deducir que cuando la turbina de accionamiento tiene una velocidad baja, se requerirá un gran número de polos en el rotor del generador y por lo tanto aumentarán las dimensiones físicas del mismo; en el caso inverso se disminuirá el número de polos y el tamaño del generador disminuirá.

La definición del número optimo de revolución de la turbina, establecerá también el sistema de transmisión de velocidad hacia el generador, ya sea que se efectuó en forma



directa o utilizando mecanismos de elevación de velocidad, por medio de bandas con poleas o sistemas de engranajes.

Para obtener una **regulación de velocidad** constante del grupo generador, existiendo una demanda variable, es necesario que en todo momento la potencia disponible al ingreso del grupo generador, deba ser igual a la potencia eléctrica a la salida de este, más las pérdidas del grupo.

$$P_{\text{ingreso}} = P_{\text{salida}} + P_{\text{pérdidas}}$$

Este equilibrio se logra regulando la cantidad de agua que ingresa a la turbina, de tal manera que si se produjera un aumento o disminución en la demanda, se abrirá o cerrará una válvula que regulará el ingreso de agua a la turbina ocasionando que la potencia generada se iguale a la demanda.

La válvula de ingreso de agua, para la Micro Central Hidroeléctrica va ser accionada eléctricamente, razón por la cual esta válvula puede ser de dos tipos; la una con un motor de corriente continua y la otra con un motor de corriente alterna, en función de establecer si la central opera en forma aislada o su trabajo tiene la posibilidad de hacerlo con otra fuente externa, ya sea de otro sistema regional existente o con el sistema nacional interconectado.

En el caso puntual que es motivo de esta investigación la micro central hidroeléctrica va a trabajar como un sistema aislado de generación y bajo la decisión de no considerar un manejo manual de la válvula de ingreso de agua, se recomienda que el funcionamiento eléctrico de ésta, sea con corriente continua, con lo que se logra independencia de trabajo y no es necesario tener personal permanente en la micro central. Esta recomendación involucra, la necesidad de contar con un sistema de corriente continua que estará compuesto de un banco de baterías, su respectivo cargador, así como se establecerá las características básicas mínimas del equipo de mando, protección y



control que se asocian al funcionamiento de la válvula de cierre y apertura del ingreso de agua.

2.2.1.3 Información de la obra civil.

Los datos que se requieren conocer, básicamente de las obras civiles de la micro central hidroeléctrica, son los siguientes:

- *Detalles de planta y planos de la casa de máquinas.*
- *Detalles de planta de la subestación.*

Los detalles de planta y planos de la casa de máquinas, permite conocer el área disponible, para la localización del equipo electromecánico de la micro central. El detalle de los planos, permite conocer con exactitud los accesos, ventanas y alturas de la casa de máquinas. En general, ya se define el plano de planta, en donde se establece con seguridad la localización del equipo mayor de la central, como son el grupo turbina-generador y la válvula de entrada de agua a la turbina, así como los canales de restitución del agua turbinada. Estas disposiciones se las determina con la ubicación en la casa de máquinas del ingreso de la tubería de presión, cuya ubicación se refleja en el plano que se muestra a continuación.

2.2.2 Criterios de Selección del generador.

- *Generalidades*

La selección del generador está influenciada directamente por el tipo de turbina que se escoja en la micro central hidroeléctrica. El tipo de turbina seleccionada, determinan tres factores importantes que afectan al tamaño del generador y son: la orientación, potencia y velocidad. Es posible adoptar una configuración horizontal o vertical del generador, en función del tipo de turbina y del diseño específico de la micro central.



Cuando se parte de la potencia en bornes del generador, la misma que se considera que es la capacidad instalada, en función de un análisis de demanda y además se toma en cuenta las pérdidas de transmisión y distribución, se puede determinar la potencia al freno de la turbina (P_t).

$$P_t = \frac{P_g}{n_g} \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

$$P_t = \frac{P_{tr}}{n_{tr}} = \frac{P_g}{n_g * n_{tr}}$$

Donde:

$P_t \rightarrow$ Potencia al freno de la turbina

$P_{tr} \rightarrow$ Potencia transmitida al generador

$P_g \rightarrow$ Potencia del generador = 120 Kw

$n_g \rightarrow$ Eficiencia del generador = 0.9²²

$n_{tr} \rightarrow$ Eficiencia del sistema de transmisión = 0.9

Reemplazando datos en la ecuación anterior se obtiene:

$$P_t = \frac{P_{tr}}{n_{tr}} = \frac{P_g}{n_g * n_{tr}} = \frac{120Kw}{0.9 * 0.9}$$

$$P_t = \frac{120 Kw}{0.81}$$

$$P_t = 148,14 Kw$$

Con esta potencia se determina el caudal de diseño (Q), mediante la **ecuación (2.5)**:

$$P_t = 9,81m^3 / seg * Hn * Q * n_T \quad (2.5)$$

Donde:

$P_t \rightarrow$ Potencia al freno de la turbina

$Q \rightarrow$ Caudal de diseño

²² La eficiencia del generador se ha tomado de 0.9 debido a que el equipo no es nuevo.



$H_n \rightarrow$ Altura neta = 51m

$n_T \rightarrow$ Eficiencia de la turbina = 0.8

De donde despejamos el caudal y se obtiene:

$$Q = \frac{Pt}{9.81m^3 / seg * Hn * n_T}$$

$$Q = \frac{148.14Kw}{9.81m^3 / seg * 51m * 0.8}$$

$$Q = \frac{148.14Kw}{425.26}$$

$$Q = 0.348m^3 / seg$$

Cuando el acoplamiento es directo entre la turbina y el generador, quiere decir que la velocidad de la turbina y generador es igual, la potencia al freno de la turbina, es igual a la potencia transmitida al generador.

Los datos fundamentales del diseño mecánico y eléctrico de la turbina para la micro central hidroeléctrica PUCUNO que interesan para la selección del generador son: potencia nominal, velocidad de la turbina (*r.p.m*), caudal de diseño, altura de diseño, eficiencia del sistema y factor de potencia.

– *Características técnicas de la turbina*

Los datos técnicos de la turbina, que se instalará en la micro central PUCUNO se los describe en el siguiente cuadro²³:

²³ Datos obtenidos de la placa de características de la turbina.

REFERENCIA	DATOS
Tipo	Francis
Orientación del eje	Horizontal
Potencia nominal	127,8 Kw
Velocidad en el eje	1200 r.p.m
Factor de potencia	0.9
Altura de diseño	51 m
Caudal de diseño	0.3 m ³ /seg

– *Determinación del caudal de diseño*

Se recopiló información acerca de la hidrología del río PUCUNO, el que va a ser aprovechado, no existe en los alrededores ninguna estación de registro de caudales. La única información disponible son dos aforos realizados en el año 1999 en el contexto de un proyecto de la Cooperación Técnica Alemana GTZ. Estos aforos realizados en época aparentemente de estiaje dieron como resultado un caudal de 6 m³/s respectivamente en el sitio del proyecto²⁴. Sin embargo, es obvio que se trata de una cuenca con un caudal muy bien regulado y con precipitación durante todo el año (*Ver Foto 2.1*), esto garantiza un alto aprovechamiento hidrológico y un perfecto funcionamiento del equipo electromecánico de la micro central en estudio.



Foto 2.1: Caudal Aprovechable del Río Pucuno

²⁴ Proyecto de Cooperación Técnica Alemana GTZ. 1999. Biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil de la EPN.

Para corroborar los datos obtenidos de los diseños de obras civiles del proyecto, se realizaron mediciones de caudal instantáneo, valores que se obtuvieron mediante el método del área y velocidad (*foto 2.2*), obteniendo los resultados mostrados en la (*tabla 2.1*).



Foto 2.2: Medición del nivel del caudal.

*Tabla 2.1: Caudales Instantáneos tomados en el Río Pucuno*²⁵

Día	Caudal (m3/s)
03 de septiembre del 2008	5,7
04 de septiembre del 2008	6
05 de septiembre del 2008	6,3
06 de septiembre del 2008	5,8
Promedio	5.95

– *Determinación del salto de diseño*

En la capacidad de generación de energía mediante el empleo de agua está determinado en su gran parte del salto o altura (*energía potencial*). Puesto que el salto (*figura 2.6*) depende de la topografía del terreno, los mapas con curvas de nivel sirven para hacer una primera estimación del salto disponible y pueden utilizarse para estudios de prefactibilidad en proyectos de micro centrales hidroeléctricas. En los estudios de factibilidad y diseños definitivos se hace necesario realizar mediciones en el lugar a fin

²⁵ Los datos obtenidos en la tabla 2.1 fueron tomados en condiciones meteorológicas normales de la zona, esto quiere decir en días parcialmente lluviosos, debido a la región es una zona naturalmente húmeda-tropical.

de obtener una mayor precisión. Por lo general se requiere presiones de 3% o más, puesto que la caída es un parámetro importante en el diseño del sistema²⁶.

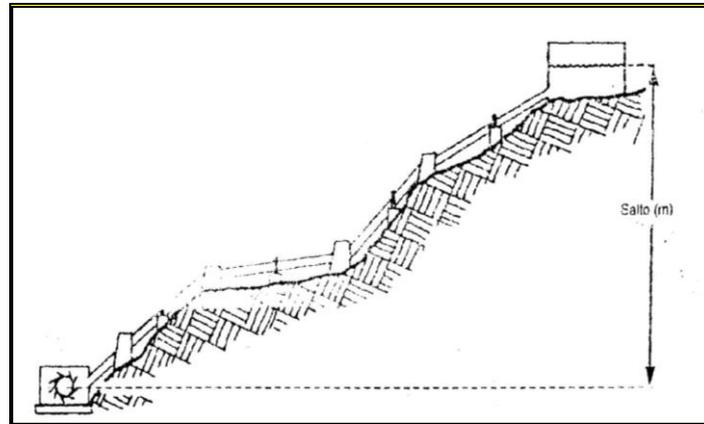


Figura 2.6 Concepto de salto o caída

Existen varios métodos efectivos para determinar el salto o caída bruta por mencionar algunos tenemos manguera de nivelación, manguera y manómetro, nivel de carpintero y tabla, el alfiler, nivel de ingeniero, mapas, etc. Al igual que para el caudal se corroboran los datos tomando mediciones según el método del nivel de ingeniero (*figura 2.7*) que es capaz de registrar medidas con 1 mm de precisión, debido a que es un método común, los equipos que se emplean se los puede alquilar fácilmente y a precios aceptables. Con él las distancias pueden ser medidas simultáneamente, pero es importante aclarar que no es apropiado para lugares escarpados o con muchos árboles.

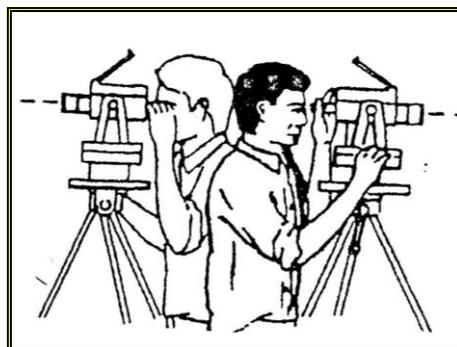


Figura 2.7 Método del Nivel de Ingeniero

²⁶ OLADE – ITDG Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas. Perú-1995. Página 27.



Los valores obtenidos se reflejan en la **tabla 2.2**.

Tabla 2.2 Datos de Caída neta y Caída bruta²⁷

Día	Caída bruta (m)	Caída neta (m)
03 de septiembre del 2008	50,5	49,5
04 de septiembre del 2008	51,5	48,9
05 de septiembre del 2008	51	50
06 de septiembre del 2008	52	49,3
Promedio	51,25	49,4

Como podemos ver la caída bruta se encuentra en el rango de 49,4 m y la caída neta en 51,3 m valores que se ajustan a los datos utilizados para el diseño de obras civiles. Los valores de la **tabla 2.2** se los registraron utilizando un GPS.

Nota:

Los cálculos exactos de caudal y salto neto para el diseño de la micro central hidroeléctrica Pucuno, no hacen parte de este estudio de investigación, debido a que como el proyecto se basa en la donación de los equipos electromecánicos Turbina - Generador y equipos mecánicos como tubería de presión, válvulas, compuestas, etc, esto quiere decir que los diseños tanto eléctricos como de obra civil se basan en datos ya establecidos por los fabricantes de las máquinas.

– **Eficiencia del sistema**

Todos los sistemas de conversión no entregan la cantidad de energía útil como que la que absorbe puesto a que una parte de esta energía se pierde en el mismo sistema en forma de calor, fricción, ruido, etc.

La eficiencia típica del sistema para una mini central operando a plena carga se muestra en la **figura 2.8**.

²⁷ Estudios de Pre-Factibilidad. Diseños de Obras Civiles. Archivos del Consejo Provincial del Tena

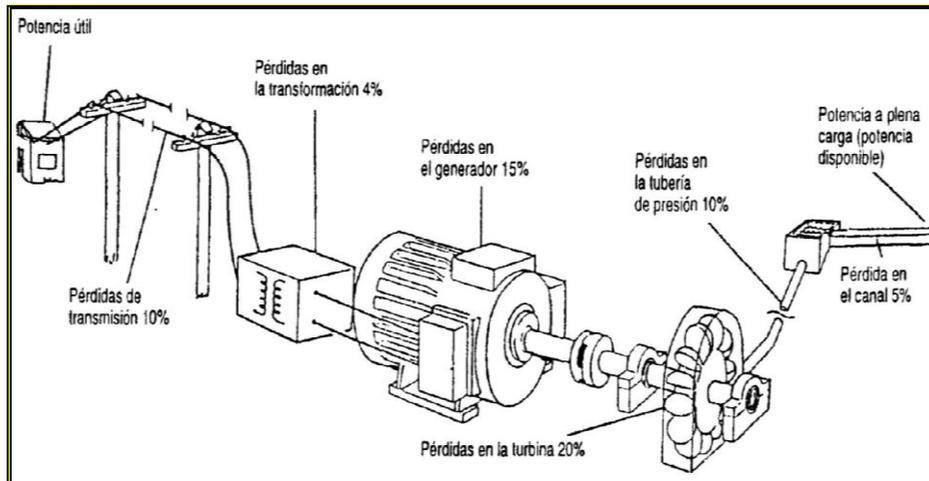


Figura 2.8 Eficiencia típica de un sistema hidroeléctrico.

La eficiencia total de un sistema es el producto de las eficiencias de todos los elementos que componen una mini central considerando la calidad y el estado de los equipos, estos valores pueden tomarse entre 0,5 y 0,7²⁸.

– **Características técnicas del Generador**

Los datos técnicos del generador, que se instalará en la micro central PUCUNO se los describe en el siguiente cuadro:

REFERENCIA	DATOS
Tipo	Sincrónico
Disposición	Montaje horizontal
Fases	3
Conexión	Estrella
Potencia	120 KW
Voltaje en bornes	220/440 V
Factor de potencia	0.9 en retraso
Corriente en la línea	196.8 Amp
Frecuencia	60 Hz

²⁸ OLADE – ITDG Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas. Perú, 1995. Página 4.



Velocidad Nominal	900 r.p.m
Tipo de polos	Polos salientes
Números de polos	8
Sobre velocidad	125 %
Clase de aislamiento	Clase F
Ventilación	Axial
Sentido de rotación	Ambas direcciones
Eficiencia	Mínimo 80 %
Tipo de servicio	Continuo
Temperatura Ambiente	40 ° C
Altura de trabajo	1000 m.s.n.m

– *Análisis de los datos del generador*

Los datos importantes que se debe tomar en cuenta, es la velocidad del eje del generador y turbina, que en el caso puntual de la Micro Central Hidroeléctrica *PUCUNO* es de 900 r.p.m y son los mismos, como se explicó en el literal 2.2.2 (*Generalidades*), el acoplamiento puede ser directo, por medio de un volante de inercia, otro valor a ser tomado en cuenta es la disposición del eje, que en la mayoría de los casos de micro o mini centrales de generación se utilizan los de ejes horizontales, un valor importante es la frecuencia del sistema (*60 Hz*), debido, a que las variaciones de este valor incidirán directamente en los usuarios finales, un punto importante en el generador es el tipo, para este caso es sincrónico, debido a la forma de funcionamiento, en donde la velocidad sincrónica de giro de la máquina se mantiene invariable.

La potencia nominal de los generadores sincrónicos, que será la potencia instalada, indican la carga máxima en KVA a un determinado voltaje con un factor de potencia dado (*normalmente 0.8, 0.85, 0.9 en retraso*). La potencia activa de salida queda limitada por la potencia del motor primario, y en general no difiere mucho de los KVA nominales. En virtud de los sistemas de regulación existentes, la tensión en bornes de la máquina se mantiene a un valor que difiere como máximo +/- 5% del valor nominal. Si



se fija la carga activa y el voltaje, la potencia reactiva de que se podrá disponer está limitado por el calentamiento de los devanados del inducido e inductor.

2.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE TURBINA.

2.3.1 Regulación de velocidad.

En los sistemas de regulación de velocidad, existen muchas maneras de aprovechar la energía generada por el agua al golpear las paletas o álabes de una rueda o turbina hidráulica, algunos de estos operan con la turbina girando a velocidad constante en todo momento, mientras que otros lo hacen con turbinas trabajando a velocidades variables, esto ocurre debido a la carga alimentada y a la existencia o no de control de velocidad en el equipo generador.

Algunos ejemplos de sistemas hidráulicos en pequeña escala que operan a velocidades variables son: los molinos tradicionales de piedras que son accionados por el agua; los trituradores de caña de azúcar, operados con ruedas hidráulicas; los cargadores de baterías que usan pico turbinas acopladas a generadores de automóvil.

En contraste, los sistemas que operan a velocidad constante están representados típicamente por aquellas mini centrales hidroeléctricas que suministran electricidad en corriente alterna. Estos sistemas requieren de una operación a velocidad constante para generar a frecuencia constante.

Dado que la frecuencia de la corriente eléctrica es directamente proporcional a la velocidad de giro del alternador, una variación en la velocidad de giro se traduce en una variación de frecuencia en el sistema eléctrico, lo que quiere decir que el generador empezará a girar a otra velocidad diferente de la velocidad síncrona, con la consecuente variación de voltaje de línea y frecuencia.

Se denomina control Potencia-Frecuencia ($P-f$) debido a que un cambio en la potencia produce una desviación de frecuencia que debe ser corregida a través de un control en el



sistema motriz, permitiendo mayor entrada de combustible sea este vapor, agua, gas natural, etc. Dependiendo del tipo de turbina, siendo la potencia un cambio que signifique para el generador un aumento de la potencia activa del sistema y viceversa. El control P-f se lo efectúa a través del llamado **Regulador de Velocidad**, el cual mediante un sensor de la frecuencia que depende del regulador, transforma en un aumento o disminución del torque mecánico de la turbina.

Una frecuencia estacionaria, a cualquier valor que permanezca, indica una igualdad entre la generación y la carga, una frecuencia que esté acelerándose significa que la generación es más alta que la carga, una frecuencia que esté desacelerándose significa que la generación es más baja que la carga. Pero existe un problema adicional, no solo es necesario conseguir que el sistema opere a una frecuencia estacionaria, sino adicionalmente que esta frecuencia sea la nominal o la programada del sistema. Es por esta razón que los reguladores de velocidad de los sistemas motrices de los generadores tienen también la misión de corregir este tipo de desviaciones.

Los reguladores de velocidad tienen diferentes características de respuesta, ya que pueden tener diferentes sensibilidades, tiempos de respuesta, y aún pueden estar bloqueados; pero dentro de este ambiente, cada generador está alerta para cambiar su salida de potencia activa, cambiando la entrada de agua o cualquier otro combustible de la parte motriz, en función de los cambios de velocidad del sistema.

Las **tablas 2.3 y 2.4** muestran algunos casos de trabajar en alta y baja frecuencia²⁹.

Tabla 2.3: *Efectos negativos debido a una operación en alta frecuencia.*

EQUIPOS/DISPOSITIVOS	EFEECTO
Lámpara incandescente	Se descompone y su vida útil baja
Motores eléctricos	Pueden averiarse
Alternadores	Puede dañarse por exceso de velocidad

²⁹ OLADE – ITDG Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas. Perú, 1995. Página 152



Tabla 2.4: Efectos negativos debido a una operación en baja frecuencia.

EQUIPOS/DISPOSITIVOS	EFEECTO
Motores eléctricos	El motor puede deteriorarse por exceso de corriente en le bobinado
Motores eléctricos	El motor no arranca
Lámpara fluorescente	La lámpara no enciende
Lámpara incandescente	Menor iluminación debido a baja tensión
Alternadores	Puede causar una caída de voltaje en el sistema y sobrecalentarse

Existen dos maneras de realizar esta regulación:

- *Regulación Manual.*
- *Regulación automática.*

Debido a que la regulación manual, tradicionalmente se ha utilizado en mini centrales de potencia menor a 50 Kw, ya que su costo inicial es muy bajo. Este tipo de regulación se utiliza en aquellos sistemas donde no existen grandes fluctuaciones en la demanda de energía. Para utilizar este sistema se requiere de un operador en la casa de máquinas, que esté atento a las variaciones en la frecuencia del sistema y que compense estas variaciones haciendo variar el caudal de agua en la turbina.

Debido a las características técnicas de regulación manual anteriormente mencionadas se concluye que ese tipo de regulación no es la adecuada en el diseño que es motivo de este estudio, porque la potencia que se va a generar es de 120 Kw y como se trata de una micro central que se va a encontrar alejada de la población a servir; se hace muy difícil mantener un operador permanente. Es por esta razón que en esta investigación se hará más énfasis en la regulación automática.

La regulación automática, de la velocidad por regulación del caudal proporciona un sistema con frecuencia y voltaje estable. Este sistema debe considerarse cuando se prevé tener grandes fluctuaciones instantáneas en la demanda.



Este tipo de regulación utiliza los llamados reguladores de velocidad oleo-mecánicos y sus variaciones tales como los taquímetros electro-mecánicos y electro-hidráulicas.

Los elementos Principales de los reguladores oleo-mecánicos, son los siguientes³⁰:

1. *Péndulo.*
2. *Bomba de aceite.*
3. *Válvula de distribución de aceite.*
4. *Servomotor.*

1.- Péndulo. Consiste en contrapesos que giran a una velocidad proporcional a la velocidad giro de la turbina. La acción de la fuerza centrífuga sobre estas masa detecta los cambios que ocurren en la velocidad nominal de trabajo. Su función es de captar estas variaciones en la velocidad y transmitir un movimiento para el cierre o apertura del paso del agua a la turbina.

2.- Bomba de aceite. Por lo general, el sistema para cierre o apertura del paso del agua se realiza a través de un circuito con aceite a presión. Este sistema usualmente trabaja con una o más bombas de desplazamiento positivo, tal como las de engranajes, que pueden ser movidas desde la turbina por medio de fajas y poleas.

3.- Válvula de distribución de aceite. Esta válvula tiene la función de distribuir el flujo de aceite hacia la dirección apropiada en caso de que se trate de un cierre o apertura del paso del agua. La posición de esta válvula es controlada básicamente por el péndulo.

4.- Servomotor. Es el cilindro hidráulico que ejerce la fuerza sobre los órganos reguladores de caudal de la turbina, es decir sobre el distribuidor o sobre la válvula de aguja.

³⁰ OLADE – ITDG Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas. Perú, 1995. Páginas 153-154-155



Los dispositivos distribuidores de aceite, como la válvula de distribución y el péndulo, no tienen energía suficiente como para mover los elementos reguladores de caudal de las turbinas. Por ello necesitan de un mecanismo que amplifique la fuerza utilizando la presión de aceite provenientes de las bombas de desplazamiento positivo.

El propósito principal es controlar la potencia de salida de la turbina, esto se logra controlando el ingreso del caudal a la turbina por medio de alabes que abren y cierran el ingreso de la cantidad de agua al rodete, variando con esta acción la velocidad en el eje de la turbina.

El equipo que realiza el trabajo de abrir y cerrar el ingreso del caudal tiene como nombre *Regulador Automático de Velocidad*, éste equipo ya se lo describió anteriormente a detalle y como esta investigación se desarrolla con la consideración de la existencia física de estos equipos, a continuación se hace una descripción breve de este equipo:

- El equipo disponible para la micro central hidroeléctrica PUCUNO es un regulador Oleo-mecánico de péndulo, que consiste en un contrapeso que gira a una velocidad proporcional a la velocidad de giro de la turbina que para éste caso en particular es una Francis cuyas características técnicas se las puede observar en la *tabla 2.5*. La acción de la fuerza centrífuga sobre esta masas detecta los cambios que ocurren en la velocidad nominal de trabajo de la turbina, la función de este equipo es, captar estas variaciones en la velocidad y transmitir un movimiento para el cierre o apertura del paso del caudal de agua hacia los alabes de la turbina. El equipo con el que se dispone es eléctrico, es decir la acción es totalmente automática por medio de un servomotor eléctrico, utilizado como bomba de aceite por el regulador de velocidad, de una potencia nominal de 2,8 KW, 440 V, velocidad del péndulo 1200 r.p.m y 60 Hz, el cual se acciona independientemente con la acción del péndulo interno del equipo³¹. Para su funcionamiento se ha previsto realizar una alimentación (*acometida*) eléctrica de

³¹ Debido a que los equipos no son nuevos y ya existen físicamente, se hizo muy difícil obtener más información como: diagramas internos y características técnicas más específicas, así que los datos son obtenidos directamente de la placa de características.



440 V, para la activación del servomotor con una protección bifásica de 10 amperios, dicha protección se la ubicará en el tablero principal de la planta.

REFERENCIA	DATOS
Tipo	Francis
Disposición	Montaje horizontal
Potencia nominal	127 KW
Caudal de diseño	0.321 m ³ / seg
Atura de diseño	51 m
Factor de Potencia	0.9

Tabla 2.5: Características técnicas del la Turbina Francis.

2.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA EL GENERADOR.

2.4.1 Generalidades.

En sistemas autónomos como es el caso de las micro centrales hidráulicas PUCUNO que no se interconectan a otra red de energía eléctrica, los generadores atienden principalmente cargas domesticas, iluminación pública y energía industrial. Para obtener un adecuado trabajo; es necesario el control de la tensión o voltaje de salida del generador, lo que se logra manteniendo la regulación de tensión en estrechos valores. Para éste propósito hay que tomar en cuenta que; la relación de armadura producida por el paso de la corriente de carga y su factor de potencia causa un efecto desmagnetizante que hace caer el valor a la tensión generada

La regulación de tensión o voltaje, es la relación porcentual de la diferencia entre la tensión en vacío (*sin carga*) V_o , menos la tensión con carga V referida a la tensión de vacío, expresada en la *ecuación 2.6*³².

³² OLADE – ITDG Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas. Perú, 1995. Página 201



$$V_{\%} = \frac{V_0 - V}{V_0 * 100} \quad (2.6)$$

Donde:

V (%) → Relación de tensión

V_0 → Tensión sin carga

V_0 → Tensión referida a lado sin carga

Como este sistema es totalmente automático en éste capítulo se va hacer énfasis en el regulador automático de tensión electrónico.

2.4.2 Regulador Automático de tensión (AVR) electrónico.-

Es un dispositivo fabricado con elementos de estado sólido montado sobre una tarjeta impresa. Su misión es mantener el nivel de voltaje constante a cualquier condición de carga dentro del valor nominal del generador aun con variaciones de velocidad hasta el 5%³³.

Por esta razón, para un trabajo adecuado es necesario el control de la tensión de salida que se logra manteniendo controlada la corriente de campo.

Toma como señal la tensión de salida del generador, la compara y emite automáticamente hacia el campo de la excitatriz la corriente continua necesaria para mantener la tensión en el nivel deseado. En la **figura 2.9** se muestra el diagrama en bloques de un regulador automático de voltaje, en donde se puede observar la interconexión de funciones entre circuitos.

³³ OLADE – ITDG Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas. Perú, 1995. Página 201

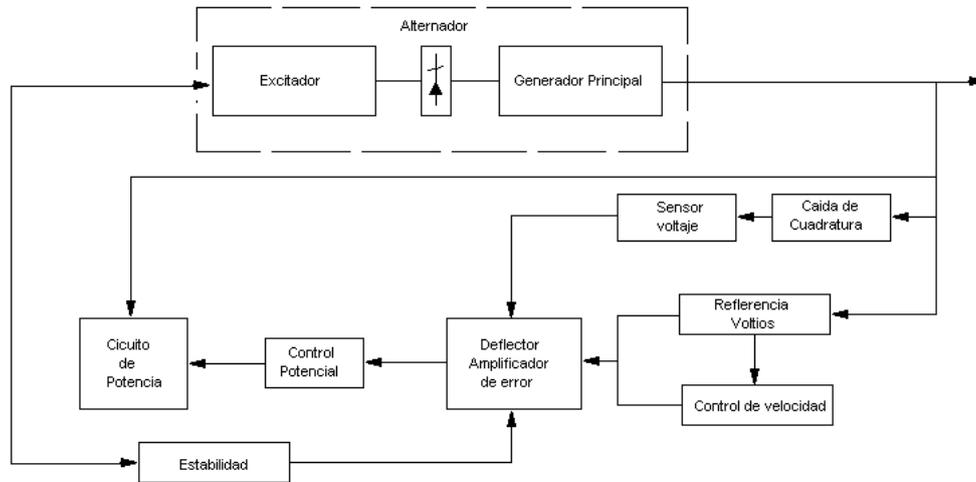


Figura 2.9 Diagrama de Bloque de un AVR electrónico.

Dividiendo el regulador en circuitos operativos tenemos:

1. **Circuito sensor y comparador.** Toma la señal, compara con una referencia pre calibrada y detecta el error.
2. **Circuito amplificador del error y control del disparo.** Detectado el error, es traducido y retenido por un tiempo, luego del cual se emite la señal que dispara el tiristor (rectificador de silicio cuya conducción de corriente es controlable).
3. **Circuito de control de potencia.** Formado por diodos de silicio y tiristores. Toma la potencia del mismo generador, según el error y la señal del disparo rectifica la corriente que se aplica al campo de excitatriz para corregir las variaciones de tensión.
4. **Circuito de estabilidad.** Es un circuito de realimentación de señal para detectar si la corrección de excitación es la apropiada. Es calibrable y depende del generador. De este circuito depende la velocidad de respuesta del equipo ante cambios bruscos de carga.

5. **Circuito de protección para baja velocidad motriz.** Para evitar sobreexcitación por caída en la velocidad de giro, estos dispositivos incluye un circuito que censa la frecuencia y, ante una disminución de la misma por debajo de un valor calibrado, dejan pasar menos corriente de excitación de manera que la tensión de salida disminuye proporcionalmente a la caída de velocidad. Este circuito no actúa sobre el regulador de velocidad de la turbina.

Este sistema de excitación es construido especialmente para los generadores sin escobillas por la reducida potencia de excitación que demanda las excitatrices. Los niveles de regulación se encuentran en los valores usuales de $\pm 1.5\%$ llegando hasta $\pm 0.25\%$ ³⁴. En la **figura 2.10**, se muestra la conexión de un regulador automático de voltaje a un generador convencional.

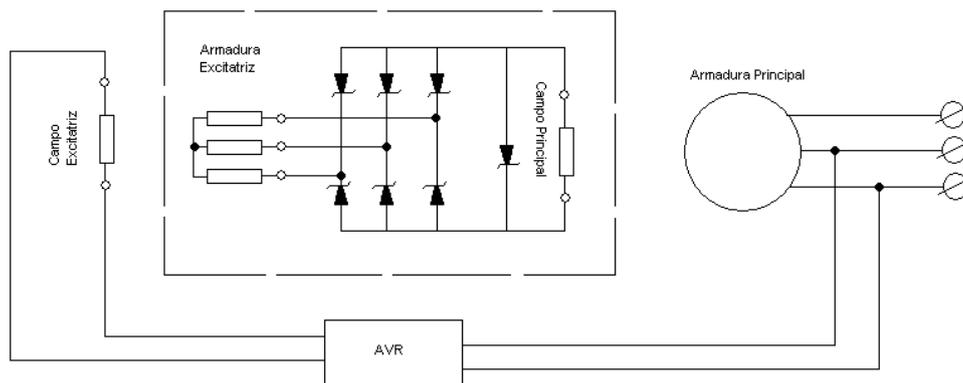


Figura 2.10 Conexión de un AVR a un generador.

2.4.3 Sistemas y dispositivos de regulación³⁵.

Existen dos sistemas básicos para mantener los parámetros eléctricos del sistema dentro del rango admisible de calidad.

El primer sistema, consiste en mantener carga constante, ya sea durante todo el tiempo de operación o en escalones de carga constante durante un determinado períodos. De

³⁴ OLADE – ITDG Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas. Perú, 1995. Página 201

³⁵ Daniel Muguerza .– Micro Centrales Hidroeléctricas. Página 61

este modo, si el generador ve una carga constante, no se producirá variación de tensión y frecuencia. Este sistema se denomina de regulación por carga.

El segundo sistema, cuando la carga que ve el generador es variable, es la turbina la que debe suministrar una potencia variable durante la operación. La variación de la potencia de la turbina se obtiene variando el caudal de agua que ingresa al rotor, ya que la altura de carga es fija. Este sistema se denomina de regulación por caudal.

La adopción de uno u otro método de regulación dependen de la abundancia o escasez del recurso hídrico y la curva de carga del sistema. Si el recurso hídrico es escaso es conveniente regular por caudal, para hacer óptimo el aprovechamiento del mismo. Si el recurso hídrico es abundante pero la curva de carga tiene comportamiento volátil y factor de carga muy bajo también resultará conveniente adoptar la regulación por caudal. Si, en cambio, con recurso hídrico abundante, puede incrementarse el factor de carga mediante usos alternativos de la electricidad o bien ordenar los usos eléctricos en escalones de la curva de carga, la regulación por carga resultará más conveniente.

Para el caso en particular de la micro central hidroeléctrica PUCUNO, se adoptará el sistema de regulación por carga balastro, debido a los beneficios de éste tipo de regulación y considerando las condiciones hídricas del lugar donde se implantará la casa de máquinas. El sistema de control por carga balastro (*o ficticia*), consiste en mantener constante la potencia generada. Es decir, la máquina funciona a potencia constante. La energía no consumida se disipa en forma de calor, en una o más resistencias, denominadas comúnmente resistencia balastro (*carga lastre*) ubicadas generalmente en la casa de máquina, como indica la **Figura 2.11**.

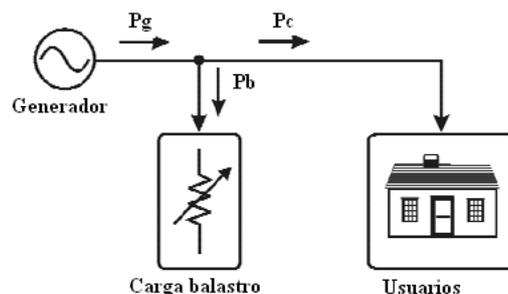


Figura 2.11 Sistema de regulación por carga balastro.



La porción de energía enviada hacia la resistencia balasto, es función de la frecuencia de la tensión generada. El sistema de control compara permanentemente la frecuencia generada con un valor de referencia. Si la frecuencia generada es mayor que la de referencia, el sistema deriva más energía hacia las resistencias balasto. De la misma manera, si la frecuencia generada es menor que la de referencia, el regulador deriva menos energía hacia la resistencia balasto.

Para el control de la potencia disipada en la resistencia balasto, se utilizan normalmente llaves electrónicas, como tiristores, triacs, transistores de potencia (BJT, IGBT, MOSFET), entre otros. El método de control por carga balasto, no presenta inconvenientes respecto al tiempo de respuesta de la acción reguladora. Pero solo encuentra aplicación en sistemas donde la cantidad de agua disponible a ser turbinada no constituye un factor crítico.

2.5 DISEÑO DE PROTECCIONES PARA LA TURBINA Y GENERADOR.

2.5.1 Protección de la turbina.

Para la protección de la turbina y su buen funcionamiento, inmediatamente aguas abajo de la bocatoma se implementará un desarenador, en el cual se sedimentarán las partículas más pequeñas que hayan logrado ingresar por la compuerta, la estructura será diseñada para sedimentar partículas de igual o mayores diámetros a 0,15 mm, de tal manera que se garantice la vida útil prevista para la tubería de presión y la turbina.

El desarenador constará de una transición diferente al inicio donde se instalará una compuerta plana de admisión, ésta transición tiene por objeto uniformizar el flujo y permitir que el proceso de sedimentación se vea entorpecido por remolinos, corrientes cruzadas, corrientes superficiales, etc.

Para el proyecto en estudio se ha previsto un desarenador de lavado intermitente, de doble cámara y un vertedero por donde saldrá el agua limpia nuevamente hacia el canal de conducción. Durante el tiempo que se requiera para las labores de limpieza operará



una u otra cámara, que proveerá del caudal captado. Para cumplir con su función el desarenador se compone de los siguientes elementos:

- ***Vertedero de Excesos previa:*** Esta permitirá descargar caudales sobrantes que no pudieron dispersarse en el primer vertedero de excesos para caudales extraordinarios.
- ***Transición de entrada:*** Une el canal de derivación del tanque de captación con el desarenador. Considerando que la eficiencia de la desarenación depende de las características del flujo en la cámara desarenadora, se ha previsto una transición gradual, relativamente larga, de tal manera de obtener un flujo totalmente uniforme en todo el ancho del desarenador.
- ***Uniformizador de Flujo:*** Que consta de tubos de acero galvanizado de 50 mm, dispuestos alternadamente previo a la entrada de la cámara desarenadora, que permiten que el flujo se uniformice.
- ***Cámara desarenadora:*** Se ubica a continuación de la transición, manteniendo la misma alineación. Esta cámara debe garantizar condiciones de flujo que permitan que las partículas sólidas de tamaño igual o mayor a 0.15 mm caigan al fondo debido a la reducción de la velocidad producido por el incremento de la sección hidráulica.

La salida del caudal desarenado se realizará sobre un vertedero de cresta semicircular, que se desarrolla sobre el extremo final de la pared lateral frontal de la cámara desarenadora.

El fondo del desarenador, luego de la transición de entrada, presenta una pendiente longitudinal del 15%, en el sentido del flujo hasta la sección transversal final a manera de tolvas que permiten la acumulación de material fino. Desde el fondo de estas se tendrán dos compuertas para lavado rápido.



- **Canal de Limpieza:** El canal de limpieza debe garantizar la salida y arrastre del material sólido evacuado desde el desarenador hasta el cuerpo receptor previsto para su descarga.

Los canales de limpieza se inicia en la sección del fondo de las cámaras desarenadora donde se ha dispuesto lateralmente las compuertas de lavado del desarenador, con pendiente fuertes adaptadas a la pendiente de las laderas cercanas a 45 grados, dichos canales construidos hasta 4 m antes de llegar al espejo de aguas de crecida del río y finalmente dispuestos de enrocados de protección con diámetros mayores a 35 cm³⁶.

2.5.2 Protección del generador.

El generador constituye el equipo más costoso en un sistema eléctrico de generación, siendo diseñados para funcionar con un alto factor de carga durante un largo número de años y estar sometidos más que ningún otro equipo del sistema, a los más variados tipos de condiciones anormales de trabajo.

A pesar de que un sistema de generación, siempre dispone de equipos de medición y control que ayudan a corregir o mantener al mínimo las condiciones anormales de funcionamiento que se presenten, importantes fallas eléctricas y mecánicas pueden suceder en forma imprevista, por lo que los generadores deben disponer de relés de protección, los cuales en caso de ocurrencia de una falla, rápidamente inician el proceso de desconexión de la máquina del sistema e inclusive dependiendo de la naturaleza de la falla, pueden ordenar la suspensión completa de la máquina.

El tratar de proteger un generador, contra todas las fallas anormales de funcionamiento que se presenten, mediante la utilización de protecciones sencillas y confiables, ha conducido a una profunda divergencia de opiniones en los diseñadores, por lo que no

³⁶ Estudios de Pre-Factibilidad, Diseños de Obras Civiles. Archivos del Consejo Provincial del Tena.



existe ningún estándar internacional que permita señalar el esquema ideal de protección, para los diferentes tipos y tamaños de generadores.

Los denominados estándares “comunes”, varían entre los diferentes países y más aun con las empresas eléctricas en un mismo país.

– *Criterios de selección*

Para el caso específico de la micro central hidroeléctrica PUCUNO; el sistema de protección seleccionado para el generador que es parte de este diseño, basado en los siguientes criterios:

- a) Sistemas de protección y estadísticas de fallas comunes, en micro centrales hidroeléctrica instaladas en nuestro país, que trabajan con generadores de potencias y características similares al seleccionado para la central generadora PUCUNO.
- b) Alternativas de protección para generadores sincrónicos, de rangos de potencias en micro centrales, recomendados por fabricantes o manuales de equipos de protección.
- c) Disponibilidad financiera del proyecto, que permita implementar un mayor grado de protección para el sistema de generación.

Bajo estas condiciones se plantean los siguientes tipos de protecciones para el generador de la micro central hidroeléctrica PUCUNO:

- 1) *Protecciones térmicas.*
- 2) *Protecciones contra sobre cargas.*
- 3) *Protecciones de sobre voltaje.*
- 4) *Protecciones de bajo voltaje.*
- 5) *Protecciones contra sobre corrientes y fallas externas, por medio del interruptor termo magnético.*



6) *Protección de sobre velocidad.*

7) *Protección de baja frecuencia.*

Los cinco primeros son protecciones de carácter eléctrico y las dos restantes son de carácter mecánico.

Los relés recomendados para la protección del generador y sistema de excitación, así como su función y acción de protección se indican en la **tabla 2.6**. Los números corresponden a la designación usada en las normas IEEE 242-1975³⁷.

Tabla 2.6. *Relés recomendados para Protección del Generador.*

Relés	Función	Acción
51	Falla a tierra	Acción sobre el interruptor principal, en indica una alarma
21	Falla a tierra en el sistema	Acción sobre el interruptor principal, en indica una alarma
78	Perdida de sincronismo	Acción sobre el interruptor principal, la excitación remota y opera una alarma
59F	Sobre voltaje en el campo del generador	Acción sobre: cierre de la válvula de la turbina interruptor principal, excitación remota y opera una alarma
46	Protección contra corriente de secuencia negativa	Acción sobre el interruptor principal, la excitación remota y opera una alarma

³⁷ Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Comercial Power Systems.



Las protecciones recomendadas para el sistema de excitación se muestran en la *tabla 2.7*³⁸.

Tabla 2.7. Relés recomendados para Protección del Generador.

Relés	Función	Acción
60E	Desbalance de voltaje en la excitación del alternador	Acción sobre cierre de la válvula de la turbina, el interruptor principal, la excitación remota y opera una alarma.
78	Pérdida de sincronismo	Acción sobre el interruptor principal en indica una alarma
64F	Falla a tierra del devanado de campo del generador.	Acción sobre el interruptor principal, el disparo para el cierre de la válvula de la turbina.
64G	Falla a tierra del devanado del estator	Acción sobre cierre de la válvula de la turbina interruptor principal, excitación remota y opera una alarma
64E	Tierra del campo de la excitatriz	Opera una alarma
87G	Protección diferencial del devanado del estator	Acción sobre cierre de la válvula de la turbina interruptor principal, excitación remota y opera una alarma

2.6 DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDIDA.

Las magnitudes eléctricas que se medirá son esencialmente:

- *Voltaje, fase/fase, fase / neutro R, S, T*
- *Corriente de línea R, S, T*

³⁸ Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Comercial Power Systems.



- *Frecuencia*
- *Potencia S, P, Q*
- *Factor de potencia*

Entre otros, cuya cuantificación puede ser realizar mediante medidores independientes análogos o digitales. Para el proyecto hidroeléctrico *PUCUNO*, se ha determinado que se utilizará el equipo **PM-500**, el cual se encontrará ubicado en el tablero de control dispuesto para esta central.

La central de medida **PM-500**, proporciona las mediadas adecuadas y necesarias para el control de la instalaciones eléctricas en baja tensión (*monofásicas o trifásicas*) o en media tensión .*El PM-500* realiza las mediciones en verdadero valor eficaz y sobre cuatro cuadrantes, de base, la energía y la tasa de armónicos (*THD*) en intensidades y tensión.

Las magnitudes que permite medir el *PM-500* se las establece en la **tabla 2.8**.

Medidas eficaces instantaneas	
Intensidad	Fases y neutro
Tension	Simples y compuestas
Frecuencia	Local
Potencia activa (4 cuadrantes)	Total y por fases
Potencia reactiva(4 cuadrantes)	Total y por fases
Potencia aparente	Total y por fases
Factor de potencia	Total y por fases
Maximo de los valores instantaneos	
Maximo intensidades	3 fases y neutro.
Maximo tensiones compuestas	3 fases
Maxima frecuencia	Local
Energía	
Energía activa (4 cuadrantes)	0 a 99 999 999 kwh
Energía reactiva(4 cuadrantes)	0 a 99 999 999 kvarh
Energía aparente	0 a 99 999 999 kVAh
Contador horario	en 1/100 horas
Medida de los valores medios	
Intensidades medidas	Fases y neutro
Potencias medidas activa, reactiva y aparente	Totales
Tasa de distorcion armónica (THD)	Intensidades y tensiones

Tabla 2.8 Magnitudes que mide el *PM-500*³⁹

³⁹ Manual de instalación y utilización de la Central de medida PM-500 Merlin Gerin. Marca Schneider Electric. Página 160



2.6.1 Características eléctricas⁴⁰.

Alimentación auxiliar	PM-500	110 a 400 VAC ($\pm 10\%$), 10 VA 120 a 350 VDC ($\pm 10\%$), 10 W	
	PM-500	24 a 48 VDC ($\pm 10\%$), 10 W	
Entrada de tensión	Fases/fases /directa)	50 a 480 VAC	
	Fases/Neutro (directo)	28 a 277 VAC	
	Fases/fases Primario (con TT externos) secundarios	Hasta 400 KV AC 58,64,66,69,100,110,115,120 VAC	
	Frecuencia	45 a 65 Hz	
Entrada de intensidades	CT: Calibre (In) secundarios	1 a 10000 A con pasos de 1 A	5 a 10000 A con pasos de 5 A
		1 Amp	5 Amp
	Sobrecarga admisible	20 Amp permanente 48 Amp 10 seg 150 Amp 1 seg	
	Consumo	0,1 VA	

2.6.2 Características mecánicas⁴¹.

Dimensiones	PM-500 : dimensiones totales	96*96*80 mm
	PM-500 : dimensiones montada en el panel	96*96*60 mm
	PM-500 : con modulo opcional: dimensiones totales	96*96*100 mm
	PM-500 : con módulo opcional: dimensiones montada en el panel	96*96*80 mm
Peso	PM-500 : sin módulo opcional	0.4 Kg
Vibración	IEC 60068-2-6	5 a 13.2 Hz ; ± 1 mm
		13.2 a 100 Hz ; 0.7 g

2.6.3 Principios de programación.

El modo de programación permite:

- Visualizar o modificar los parámetros del PM-500 y de sus módulos opcionales.
- Poner en cero los distintos contadores (energía, contador horario, etc)
- Hacer el reset de los valores máximos y mínimos.

⁴⁰ Idem. Referencia 36. Página 230

⁴¹ Idem. Referencia 29. Página 230



La operación se desarrolla en tres etapas principales:

- *Entrar en modo de programación.*
- *Visualizar o modificar los parámetros.*
- *Salir del modo de programación.*

El PM-500 memoriza los nuevos parámetros al salir del modo programación.

Por defecto, el parámetro del transformador de corriente está configurado en 500/5 amperios, y por otra parte, el transformador de tensión por defecto, no está configurado.

Los valores del primario y secundario se encuentran en los valores de 100 V.



CAPITULO III

DISEÑO ELECTRICO DEL PATIO DE MANIOBRAS O SUBESTACION (PATIO DE ELVACION)

En un sistema eléctrico típico, la energía eléctrica se genera de diversos modos, pero siempre es transmitida hacia los centros de carga, sean estos clientes especiales, pequeños poblados, o grandes ciudades. Pero en la mayoría de los casos, la electricidad transmitida a estos puntos superan los miles de voltios, siendo necesarias subestaciones de transformación, en las que se obtienen niveles de voltajes distintos a los enviados desde los centros de generación, aunque también pueden existir subestaciones carentes de equipos de transformación, cuya función es simplemente la de conexión.

Podemos considerar a las subestaciones como nodos eléctricos, en los cuales se conectan distintos circuitos entre sí, mediante equipos de corte y seccionamiento.

– CLASIFICACIÓN.

Las subestaciones suelen clasificarse de acuerdo a su nivel de voltaje, de acuerdo a su configuración, operación, su función y a su exposición física. A continuación, se mencionan las más comunes.

De acuerdo a su nivel de voltaje:

- *Alto voltaje:* (52 kV - 300 kV.)
- *Distribución:* (6.6 kV - 44 kV.)
- *Bajo voltaje:* (*Voltajes de distribución secundarios*).



De acuerdo a su configuración:

- *Barra simple*
- *Doble barra*
- *Doble barra más by pas*
- *Doble barra más seccionador de transferencia*
- *Doble barra mas barra de transferencia*
- *Interruptor y medio*
- *Anillo*
- *Doble anillo*
- *Pirámide*

De acuerdo a su función:

- *Generación*
- *Transformación (elevadora o reductora)*
- *Mixta (generación y transformación)*
- *Compensación (capacitiva serie y capacitiva paralelo)*
- *Seccionamiento*
- *Rectificadoras*

De acuerdo a su exposición física:

- ***Blindada:*** La subestación se encuentra en el interior de un recinto notablemente más pequeño que aquellas a la intemperie, y todos sus elementos se encuentran aislados entre sí por un blindaje dieléctrico, constituido principalmente por hexafluoruro de azufre y vacío, reduciendo en gran medida las distancias de seguridad entre los equipos.



- **Exterior:** Los equipos se encuentran instalados a la intemperie, y aislados unos de otros mayormente por aire, siendo necesarias grandes distancias entre estos.
- **Interior:** La mayor parte de los equipos se encuentran resguardados de los elementos, sea de forma subterránea o en edificaciones industriales o comerciales, aunque los transformadores suelen situarse en el exterior.

Para que una subestación de alto voltaje trabaje correctamente, se debe coordinar entre los asistentes que operan la subestación directamente, bien sea en el patio de maniobras sobre los mismos equipos o desde un computador en la sala de control de la subestación, y los operadores que utilizan distintos medios de comunicación para realizar las ordenes de control sobre los equipos primarios de potencia. Además, existe un trabajo de supervisión y adquisición de datos, que se realiza en la subestación mediante inspección visual y a través de la lectura de los distintos sensores presentes en la subestación.

Es de suma importancia entonces que el operador de la subestación posea gran destreza en el seguimiento de los parámetros de ésta, conocimiento de los procedimientos que han sido establecidos y las restricciones presentes en dichos procedimientos. Para que una maniobra pueda ser realizada, es necesario que se realice una secuencia de acciones que controlan los equipos en la subestación, a esta secuencia u orden en los pasos se la conoce como *enclavamiento*, el que depende tanto de la maniobra que se quiere realizar, del estado actual del sistema y de la configuración de la subestación.

Para el caso en particular de Micro Central Hidroeléctrica PUCUNO la subestación o patio de maniobra según su nivel de voltaje será del tipo distribución, mientras que por su configuración es de barra simple y su función es interna.



3.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL TRANSFORMADOR.

3.1.1 Generalidades.

En una central de generación independientemente del tipo y capacidad, es indispensable la construcción y diseño de una subestación de elevación para poder evacuar la energía que se genere en la central, esta evacuación será a través de una línea de transmisión, que para el tema en particular será una línea de distribución, dado el nivel de voltaje y potencia. Otra razón fundamental para la construcción de una subestación es la necesidad de convertir el voltaje que está generando la unidad, a un nivel de voltaje de transmisión o distribución, los niveles se han generalizado y normalizado en nuestro país.

Los transformadores de potencia son los equipos que cumplen con la función de transformar el voltaje del sistema de un nivel nominal a otro y deben ser capaces de transportar el flujo de potencia en forma continua hacia la carga.

El transformador de elevación de la micro central hidroeléctrica PUCUNO será del tipo convencional y tendrá un sistema de barra simple, esto quiere decir una posición de entrada y una posición de salida, donde la entrada alimentara a un transformador de elevación trifásico de potencia de 160 KVA, que dispone el Consejo Provincial del Tena y que cumple con las características del voltaje requerido.

Considerando que este estudio se basa en los datos de placa de los equipos electromecánicos ya existentes, en este capítulo se va hacer énfasis al diseño eléctrico de la subestación de elevación de la micro central PUCUNO, básicamente en cuanto a seccionamiento, protección de descargas atmosféricas, aislamientos y consideraciones de funcionamiento, de ésta forma, se evitara daños en los equipos de la micro central.



3.1.2 Características técnicas del transformador de Potencia.

Las especificaciones técnicas del transformador de potencia de la subestación se las indica en la *tabla 3.1*.

Tabla 3.1 Especificaciones Técnicas⁴²

Potencia Nominal	160 KVA
Altura de instalación m.s.n.m	1000
Temperatura ambiente	36° Celsius
Material de los devanados	Cu
Número de fases	3
Voltaje primario	440 V
Voltaje secundario	13800 V
Taps en lado de media tensión	5 x 2,5 %
Medio de aislamiento	Aceite
Máxima impedancia	4 %
Grupo de conexión vectorial	Ydn5
Frecuencia	z

⁴² Datos obtenidos de la placa de características.

3.1.3 Análisis de los datos del transformador de potencia.



Los transformadores de una subestación son los equipos encargados de cambiar los niveles de tensión de los primarios a un valor mayor, de tal manera que se permita igualar a los valores que normalizan las empresas distribuidora, para su posterior transporte por medio de las líneas de transmisión, sin necesidad de equipos e instalaciones peligrosas. La capacidad del

transformador se la selecciona de acuerdo al generador o la potencia de generación. Para el caso puntual de micro central hidroeléctrica PUCUNO la capacidad del transformador, así como sus características técnicas (*Ver Tabla 3.1*), ya se encuentran definidas, que para este caso es un transformador trifásico bañado en aceite de 160 KVA.

La magnitud del porcentaje de impedancia de un transformador afecta la regulación de la tensión y el valor las corrientes de corto circuito que fluyen por los devanados ante fallas en los alimentadores secundarios. A menor valor de impedancia mayor valores de regulación y de corriente corto circuito, es por ello que el valor del porcentaje de impedancia se debe seleccionar tratando de encontrar un punto económico de estos factores, debiéndose tomar en cuenta que la calidad de tensión que se entrega a los usuarios se puede variar con los cambiadores de derivación que poseen los transformadores.

La conexión de los transformadores trifásicos es uno de los puntos de mayor interés cuando se trata de seleccionar un transformador de potencia para un sistema de generación. Las opciones que se presentan para el proyectista en el momento de la selección de un transformador para éste tipo de proyectos, es en general entre seleccionar transformadores de neutro flotante o neutro aterrizado.



El transformador de potencia será trifásico, clase subestación, sumergido en aceite, auto refrigerado, tipo convencional, apropiado para instalaciones al intemperie a 1000 m.s.n.m (*metros sobre el nivel del mar*). Potencia nominal en régimen continuo de 160 KVA, adecuado para una temperatura ambiente de 36° Celsius medidos por resistencia. El voltaje nominal del primario es de 440 V y voltaje nominal del secundario es de 13800 V. La conexión es en estrella, con el neutro sacado al exterior. Desplazamiento angular primario-secundario de 150° y grupo de conexión Ydn5 según norma IEC. La derivación en el lado primario es de 5x2.5% de la relación de transformación, para conmutación sin carga, con el localizador ubicado exteriormente. La impedancia máxima a régimen continuo: 4% sobre la base de sus KVA nominales. Una frecuencia de 60 Hz. Clase de aislamiento lado primario: 24 KV, BIL 150 KV. Clase de aislamiento lado secundario: 12 KV, BIL 30 KV.

Se instalará con los siguientes accesorios como mínimo:

- *Indicador de nivel de aceite.*
- *Válvula de drenaje.*
- *Conector para derivación a tierra del tanque.*
- *Placa de características.*
- *Ruedas orientables.*
- *Dispositivos de elevación.*

3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE CORTE Y PROTECCIÓN PARA EL TRANSFORMADOR DE POTENCIA.

El transformador de potencia, es uno de los equipos más confiables de un sistema eléctrico. Esta confiabilidad, sin embargo, depende de un diseño adecuado, un cuidadoso montaje, un mantenimiento oportuno y la provisión de ciertos equipos de protección y corte de fallas.



Contrariamente a lo que ocurre en los generadores, los transformadores en aceite plantean un problema de protección mucho más delicado a causa de su funcionamiento netamente estático, pues estos se ven sometidos a tipos diferentes de cortocircuitos y condiciones anormales.

Un transformador puede estar sometido a las siguientes fallas o condiciones anormales:

- *Fallas internas.*
- *Sobre calentamientos.*
- *Cortocircuitos internos.*
- *Sobre tensiones de origen atmosféricos.*

Los métodos que se emplean en cada caso varían según la importancia, capacidad, costos, etc, del transformador y las condiciones de su operación, sea que esté aislado de otro o en paralelo; que se ubiquen en cámaras o en poste; que opere con un generador o línea, etc.

Para el caso puntual de la central PUCUNO y en función de su capacidad, importancia y tipo de instalación, el sistema de protección y corte del transformador de la subestación considerará protecciones sencillas que permitan un adecuado grado de protección durante su funcionamiento.

3.2.1 Equipos de protección y corte contra fallas internas y sobrecalentamiento del transformador.

Las fallas internas a la zona de protección del transformador, pueden ser fallas en los terminales mismos o fallas en los bobinados. En ambos casos se requiere un sistema de pronta desconexión, pues los esfuerzos resultantes son destructivos y existe además el peligro de incendios.



La mayoría de las fallas internas que ocurren dentro de los bobinados son, ya sea fallas a tierra, o fallas entre espiras, cuya severidad depende del diseño del transformador y el tipo de puesta a tierra del neutro del sistema eléctrico que está conectado. Las fallas entre fases dentro del tanque de un transformador trifásico, con cambiadores de derivación (*Taps*) sin carga, son muy poco probables y su principal causa para la ocurrencia de este tipo de fallas, son arcos entre los bushings.

Existen ciertos tipos de fallas que pueden denominarse incipientes y que no constituyen un peligro inmediato. Sin embargo, si no son detectadas pueden convertirse en una falla mayor.

Las principales fallas que se presentan dentro de estas características son fallas en el núcleo, debido a desperfectos en el aislamiento en sus láminas y también fallas en el aceite, por pérdidas o defectos en su circulación. En ambos casos se producirá sobrecalentamientos en los transformadores.

El diseño eléctrico de Micro Central Hidroeléctrica PUCUNO, contempla proteger las fallas o anomalías internas y las sobrecargas del transformador de la subestación, mediante un interruptor de carga, el cual dispondrá para el efecto de disparadores electromagnéticos ajustables contra cortocircuitos y disparadores térmicos contra sobrecargas con retardo dependiente de la corriente, también ajustables en un determinado rango.

Estos disparadores forman parte del interruptor y actúan directamente sobre el mecanismo de apertura del mismo, ante la presencia de un cortocircuito o sobrecarga respectivamente.

Obsérvese que según el diseño (*Ver Plano del Diagrama Unifilar de la Central*), el interruptor de carga sirve también como protección del generador contra fallas externas.



Para el dimensionamiento adecuado del interruptor de carga es necesario considerar los siguientes parámetros básicos como:

- *Tensión nominal.*
- *Corriente nominal.*
- *Capacidad de interrupción simétrica a tensión nominal.*

Los valores de tensión nominal y corriente nominal corresponden a los datos del generador o del lado de baja tensión del transformador de la subestación, es decir 220 /440 voltios y 196.8 amperios.

La capacidad de interrupción simétrica a tensión nominal del interruptor, se calcula estableciendo la corriente de cortocircuito trifásico en los bornes del generador aplicando la *ecuación 3.1*.

$$I_{cc(G)} = \frac{I_n}{X_d''} \quad (3.1)$$

Donde:

$I_{cc(G)}$ → Corrientes de cortocircuito en los bornes del generador

I_n → Corriente nominal del generador en amperios = 196.8
Amp.

X_d'' → Reactancia sub transitoria de eje directo del generador
es 0,13⁴³ en Ohmios.

Reemplazando valores tenemos:

$$I_{cc(G)} = \frac{I_n}{X_d''}$$
$$I_{cc(G)} = \frac{196.8}{0.13}$$

⁴³ El valor de 0,13 se lo determinó mediante datos del fabricante de generadores de capacidades parecidas, como INELMO.



$$I_{cc(G)} = 1513.846 \text{ (A)}$$

Otro valor a calcularse es la falla fase – tierra, pues por lo general, es la corriente más elevada que el interruptor debe abrir. Mediante la **ecuación 3.2** se calcula el valor de la corriente de cortocircuito fase – tierra en los bornes del generador.

$$I_{cc(G)} = \frac{\sqrt{3} * V_n}{(Z_{g1} + Z_{g2} + Z_{g0})} \quad (3.2)$$

Donde:

$I_{cc(G)}$ → Corriente de cortocircuito fase – tierra en los bornes del generador

V_n → Voltaje nominal del generador = 440 V

Z_{g1} → Impedancia de secuencia positiva del generador = 0.3Ω

Z_{g2} → Impedancia de secuencia negativa del generador = 0.1Ω

Z_{g0} → Impedancia de secuencia cero del generador = 0.1 Ω

Los valores de impedancia de secuencias positiva, negativa y cero del generador, han sido tomados mediante datos de la Fábrica de Generadores **INELMO** cuyas características técnicas se ajustan al generador provisto para la Micro Central Hidroeléctrica PUCUNO.

Reemplazando valores tenemos:

$$I_{cc(G)} = \frac{\sqrt{3} * 440}{(0.3 + 0.1 + 0.1)}$$

$$I_{cc(G)} = \frac{761.2}{0.5}$$

$$I_{cc(G)} = 1522.4 \text{ (A)}$$



En la actualidad los interruptores de caja moldeada para baja tensión, disponen de capacidades interruptoras muy elevadas, por lo que los valores de falla calculados anteriormente, se encuentran fácilmente dentro de los rangos nominales disponibles de los diferentes fabricantes de interruptores.

Otra característica que hay que resaltar del interruptor termo magnético a utilizar, es que disponga de una bobina de mínima tensión (mT), que se utilizará para vigilar la tensión nominal del sistema de generación y de la subestación, así también servirá como elemento auxiliar para el dispositivo de disparo del disyuntor en caso de determinadas fallas.

En general, la bobina de mínima tensión, disparan el interruptor cuando la tensión aplicada baja entre el 70 y el 35 % de la tensión nominal de accionamiento. Finalmente se establece a continuación las principales características técnicas del interruptor termo magnético que se utilizará en la micro central.

Tabla 3.2 Especificaciones Técnicas⁴⁴

Tipo	Termo magnético en caja moldea
Número de polos	3
Voltaje de trabajo	220 Voltios A.C
Corriente nominal	200 Amperios
Tensión de aislamiento	600 Voltios A.C
Disparadores	Térmicos y magnéticos ajustables
Bobina Mínima Tensión	De 127 Voltios A.C
Capacidad interruptiva	Normal 220 Voltios A.C
Frecuencia	60 Hz
Tiempo total de interrupción	10 – 15 mili segundos
Contactos auxiliares	2 NA + 2 NC

⁴⁴ Datos obtenidos mediante catálogos de fabricantes de interruptores como por ejemplo: Schneider Electric.



Tipo de servicio	Continuo
Posición de montaje	Vertical
Temperatura ambiente	40° C
otros	Botón de prueba de disparo

3.2.2 Protección del transformador contra fallas externas y sobre voltajes.

A. Protecciones contra cortocircuitos externos.

El transformador de la subestación, como elemento de la red distribución, debe quedar desconectado en caso de cortocircuito en la zona de barras (*salida de la línea de alta tensión*) y también en caso de cortocircuitos en la red.

Para unidades de pequeña generación, como es el caso de la micro central PUCUNO, la protección contra cortocircuitos se la realiza generalmente utilizando seccionadores fusibles, el empleo de éste tipo de aparatos como elemento de protección y seccionamiento es muy amplia, debido a su sencillez, bajo costo y simplicidad.

Cuando la potencia se hace importante, es preferible la utilización de disyuntores, los cuales permiten una protección más sensible y una rápida re conexión del servicio.

– *Interruptor- Seccionador*

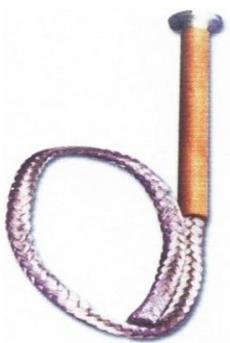


SECCIONADOR UNIFILAR

Existen equipos cuya función es solo aislar una parte de la instalación de otra, para poder acceder a ellas en condiciones de seguridad. A este equipo se los conoce como seccionadores, en media y alta tensión son los equipos más utilizados como método de seccionamiento, son elementos que funcionan sin carga y al accionarlos no cambian el potencial en los bornes. Su función es garantizar la seguridad

cuando se accede a la parte de la instalación que se desee seccionar. En baja tensión en general no se instalan seccionadores con esta función exclusiva, en su mayoría los aparatos son seccionables, así se garantiza las condiciones exigidas de seguridad.

Cuando el seccionador se encuentra abierto nos aseguramos una distancia de seccionamiento o separación. Esta función es necesaria para cumplir una regla importante de seguridad⁴⁵, para realizar trabajos, pueden ser de mantenimiento o intervenciones en media tensión, debido a un daño o falla. Puede abrir o cerrar un circuito interrumpiendo o estableciendo, según corresponda, el paso de una corriente siempre que esta sea de valores despreciables ($\leq 0,5 A$). Los interruptores con limitado poder de interrupción, llamados también seccionadores con poder de apertura, tienen capacidad de maniobra, pero requiere que se los proteja de cortocircuitos, función de la que se deberá encargar el dispositivo que se encuentra del lado de la fuente (*fusible*). A veces estos aparatos tienen un relé térmico, y es fácil confundirse con interruptores, pero para su funcionamiento seguro en todas condiciones requieren al menos estar protegidos por un fusible que en teoría debería estar del lado de la fuente para proteger cualquier condición. En general pueden considerarse seccionadores de maniobra, pueden conducir y maniobrar la corriente nominal



FUSIBLE TIPO K

El fusible, es un dispositivo que está dotado de cierto poder de ruptura, el equipo está destinado a cortar automáticamente el circuito eléctrico en el que está intercalado, cuando la corriente que lo atraviesa excede cierto valor, este corte se consigue por fusión de un alambre fusible incluido en el aparato y colocado en serie con el circuito eléctrico, el cual se calienta cuando pasa la corriente, y se funde, interrumpiendo el circuito cuando esta corriente sobrepasa cierto calor.

⁴⁵ La regla dice: Hay que mantener las distancias de seguridad y garantizar el manejo de los operadores, preservando la vida humana.



Los seccionadores están elaborados para soportar un elevado número de maniobras sin necesidad de un mantenimiento, debido a su construcción que es simple y robusta. Los interruptores seccionadores superaron con éxito las pruebas de la norma IEC y NEC.

– *Selección del interruptor- seccionador.*

Para el caso específico que nos ocupa, el sistema de protección seleccionado para el transformador de potencia en el lado de media tensión de la subestación de la Micro Central *PUCUNO*, se ha basado en los siguientes criterios:

- a) *Potencia del transformador de potencia.*
- b) *Corriente nominal del transformador de potencia.*
- c) *Voltaje de la red de media tensión.*
- d) *El tipo de fusible a instalar (tipo K o H).*
- e) *Disponibilidad financiera del proyecto.*

Considerando los criterios antes mencionados se selecciona, un seccionador - fusible unipolar, el cual es un dispositivo de seccionamiento manual, operado sin carga, admite el corte de corriente de valor limitado como aquellas de magnetización de transformadores, además; el elemento fusible incorporado permite obtener una protección de sobre corriente. Para el caso la micro central hidroeléctrica se utilizarán seccionadores – fusibles unipolares, tipo abierto, adecuados para una tensión de 13.8 KV. Tensión máxima de diseño: 27 KV. Capacidad nominal: 100 A BIL: 125 KV. Completo, con tubo porta fusible y accesorios de soporte para montaje en cruceta de hierro ángulo.

La protección en lado primario del transformador de potencia de 160 KVA de la subestación será fusible de 15 amperios tipo K. El valor de fusible corresponde a la tabla de selección de fusibles para transformadores de distribución que se describe en la



Guía de Diseño parte A de la EEQSA⁴⁶. El fusible tipo K es un fusible de respuesta rápida. La relación entre la corriente de fusión a 0,1 segundo y la de 300 segundos (*para fusibles de capacidad mayor a 100 amperios, se toma el valor de 600 segundos*). Los fusibles tipo K son normalizados según ANSI C 3742.

- **Procedimiento de Cálculo:**

La intensidad nominal del transformador en media tensión viene dada por la siguiente expresión:

$$I_{\text{secundario}} = \frac{KVA * 1000}{\sqrt{3} * V_{\text{secundario}}} \quad (3.3)$$

Donde:

- $I_{\text{secundario}}$ → Intensidad en el lado de media tensión (A)
- KVA → Potencia aparente del transformador (KVA)
- $V_{\text{secundario}}$ → Voltaje de alimentación (V)
- $\sqrt{3}$ → Constante del sistema

Reemplazando valores se obtiene:

$$I_{\text{secundario}} = \frac{160 * 1000}{\sqrt{3} * 13.800}$$

$$I_{\text{secundario}} = \frac{160000}{23874}$$

$$I_{\text{secundario}} = 6.701 \text{ Amp}$$

En la mayoría de sistemas rurales las líneas de alta tensión o alimentadores primarios, se presentan especialmente como índice de fallas predominantes, los cortocircuitos monofásicos fase – tierra, por lo que en el diseño de la micro central hidroeléctrica

⁴⁶ Empresa Eléctrica Quito S:A, Normas para Sistemas de Distribución - Parte A- Guía para Diseño – Página 74.



PUCUNO, se utilizará como protección de respaldo contra fallas externas al transformador un relé de falla a tierra. Este relé es básicamente el relevo de sobre corriente de tiempo inverso, por el cual circula una corriente equivalente a la suma de las tres corrientes de fase.

En operación nominal y sistemas equilibrados la corriente resultante es nula, mientras que con la presencia de una falla a tierra habrá una corriente resultante que puede activar al relé. Es importante señalar, que para la calibración de éste equipo se debe tenerse en cuenta los desequilibrios normales de corrientes que suceden al operar un fusible o un dispositivo monofásico de protección, para que el relé no active en éste caso (*por ejemplo permitir un desequilibrio del 50% de la corriente máxima de carga*).

Finalmente las características técnicas del relé de sobre corriente para la falla a tierra (I_0) de la micro central son:

Tabla 3.3 Especificaciones Técnicas⁴⁷

Construcción	Estado sólido
Característica tiempo-Corriente	Inverso y muy inverso
Corriente nominal secundaria	5 A
Control	Monofásico
Frecuencia	60 Hz
Contactos auxiliares	2 NA
Capacidad contactos	15 A
Rango de calibración de corriente	0.5 a 5 A
Cantidad	1 unidad

⁴⁷ Datos obtenidos mediante catálogos de fabricantes de relés.



Para complementar, el funcionamiento de la protección de falla a tierra del transformador de la subestación de micro central PUCUNO, se debe especificar el tipo de transformador de corriente que transmitirá la información al relé de protección para su trabajo:

Especificaciones del transformador de corriente (TC10).

Tabla 3.4 Especificaciones Técnicas⁴⁸

Tipo	Con devanado primario
Relación	50/5
Tensión máxima de servicio	15 KV
Clase	10 P (IEC)
Potencia nominal	15 VA
BIL	110 KV
Accesorios	Caja terminales secundario
Altura sitio de montaje	1000 m.s.n.m
Tipo de montaje	Sobre cubierta
Cantidad	1

B. Protección de sobre voltajes.

– Información general.

Se entiende, por sobre voltaje todos aquellos valores que exceden del valor de la tensión de servicio máximo permanente admisible, capaz de poner en peligro el material o el buen servicio de una instalación eléctrica.

⁴⁸ Idem. Referencia 6.



Las sobretensiones pueden producir descargas que además de destruir o averiar seriamente el material, también pueden ser la causa de nuevas sobretensiones. Muchas veces los peligros de las sobretensiones no se deben solamente a su magnitud, sino también a la forma de onda.

Se pueden distinguir dos clases de sobretensiones:

- 1. Sobretensiones de origen externo, que comprenden sobre todo las descargas atmosféricas, tales como rayos, tormentas, cargas estáticas de la línea, etc. La amplitud por ser de origen externo, no está en relación directa con la tensión de servicio de la instalación afectada.*
- 2. Sobretensiones de origen interno, que se producen al variar las condiciones propias de servicio de la instalación, como por ejemplo las oscilaciones de intensidad de corriente, variaciones de carga, descargas a tierra, etc. Este tipo de sobretensiones pueden preverse en gran parte y por lo tanto evitarse.*



**PARARRAYOS DE
DISTRIBUCION**

Para la protección de sobretensiones del transformador de la subestación y de la línea de alta tensión, se usarán los denominados pararrayos o también denominados descargadores de sobre voltajes. Los pararrayos son aparatos de protección, destinados a descargar las sobretensiones producidas por descargas atmosféricas, por maniobras o por otras causas que, en otros casos se descargarían sobre aisladores o perforando el aislamiento, ocasionando interrupciones en el sistema eléctrico y en muchos casos, desperfectos en máquinas y equipos.



Los pararrayos deben estar permanentemente conectados a las líneas, pero han de entrar en funcionamiento, únicamente cuando la tensión alcance u valor conveniente y superior a la de servicio.

Los pararrayos garantizan una protección segura y tienen una larga vida útil, libre de mantenimiento, debido a su gran capacidad de descarga y a su robusta construcción con armadura inoxidable.

– *Criterios de selección del pararrayos.*

Para efectos de selección, de un pararrayos, se deberá tomar en cuenta y determinar especialmente los siguientes aspectos:

1. *Tipo o clase de pararrayos (Clase distribución, clase subestación, etc)*
2. *Tensión Máxima de la red en el sitio de montaje.*
3. *Forma de puesta a tierra.*

Aplicando estas tres condiciones al caso en particular de la micro central PUCUNO se determina que:

1. *Es suficiente la utilización de pararrayos tipo distribución, en razón de la pequeña potencia del transformador de la subestación de la micro central.*
2. *La tensión máxima en el sitio de montaje será hasta 13800 voltios, valor que corresponde a + 5% del voltaje nominal de la red de alta tensión (13200 V) y que puede obtenerse variando los tap del transformador.*
3. *La red de distribución considera un diseño, para que trabaje con un sistema trifásico de 4 conductores, con neutro sólidamente puesto a tierra en varios puntos.*



Finalmente las características técnicas del pararrayos de sobretensión de la micro central son:

Tabla 3.5 Especificaciones Técnicas

Tipo	Auto valvular
Clase	Distribución
Tensión secundaria	13.2 KV
Tensión nominal	10 KV
Frecuencia	60 Hz
Onda de corriente	10/20 micro segundos
Altura sitio montaje	1000 m.s.n.m
Accesorios de sujeción	Para montaje en cruceta
Cantidad	3

- **Procedimiento de Cálculo:**

Para el cálculo de la tensión del pararrayos, las normas NEMA recomiendan la utilización de la siguiente fórmula:

$$\text{Tensión Pararrayos} = \text{Tensión máxima} * \text{Cifra de puesta a tierra}$$

Donde:

$$\text{Tensión máxima} \rightarrow 13800 \text{ V}$$

$$\text{Cifra de puesta a tierra} \rightarrow 0,75$$

Aplicando la formula se tiene:

$$\text{Tensión Pararrayos} = 13800 \text{ V}$$

$$\text{Tensión Pararrayos} = 10350 \text{ V}$$



Se escoge un pararrayos tipo distribución, de tensión nominal 10 KV, que es el normalizado.

3.3 DISEÑO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA.

Todo diseño de puesta a tierra debe asegurar y limitar las elevaciones de potencial en el momento de la falla, en la zona de influencia. Si se logra despejar la falla en muy corto tiempo, se reducen las probabilidades de lesiones y daños.

En sistemas eléctricos de alta potencia, esto es, sistemas con alta corriente de falla que circulan por el electrodo de puesta a tierra y luego por ésta, se emplean mallas conductoras, conocidas como mallas, redes, rejillas o más comúnmente llamadas “*Mallas de puesta a tierra*”. La metodología de diseño de estas mallas, si bien se basa en la teoría de campos electromagnéticos, emplea formulas o ecuaciones derivadas de modelos analógicos, empleando el tanque electrolítico. Esta metodología, es desarrollada por IEEE norma 80.

➤ **Consideraciones.**

- La resistencia del cuerpo humano tiene valores de entre 500Ω a mayores de 1000Ω como resistencia del humano para efectos de diseño⁴⁹.
- La resistividad del suelo sobre el que estará caminando la persona (ρ_s) para el caso del proyecto PUCUNO será el concreto con un valor de resistividad de $10\ \Omega\text{-m}$ a $300\ \Omega\text{-m}$, puesto que en este local tendremos la tensión más alta de la instalación y es precisamente en este lugar en donde se construirá la malla de tierra.

Para efectos de diseño para la malla de puesta a tierra se recomienda trabajar o elegir valores de resistividad del suelo muy bajos

⁴⁹ STD Norma 80 IEEE. Guide for Safety in Alternating-Current Substation Grounding. NY.1961.



$$\rho_s = 10 (\Omega m)$$

La Norma 80 de la IEEE señala un tiempo de operación de las protecciones de $1,2 \approx 1,4$ segundos, para efectos de diseño se tomará un valor de:

$$t = 1,2 (seg)$$

Al igual que el tiempo de operación de las protecciones, el valor de la resistencia del cuerpo R_k , se tomará el valor de 1000Ω .

3.3.1 Voltaje de paso máximo permisible.

Es la diferencia de potencial entre dos puntos de un terreno que pueden ser tocados simultáneamente por una persona, viene dado por la *ecuación 3.4*.

$$E_{p_{MAX}} = \frac{165 + \rho_s}{\sqrt{t}} \quad (3.4)$$

Donde:

$E_{p_{MAX}}$ → Voltaje máximo que soporta una persona entre los pies.

ρ_s → Resistividad de la superficie.

t → Tiempo de operación de las protecciones.

Reemplazando valores se obtiene:

$$E_{p_{MAX}} = \frac{165 + 10}{\sqrt{1,2}}$$

$$E_{p_{MAX}} = \frac{175}{1,0954}$$

$$E_{p_{MAX}} = 159,75 \text{ V}$$



3.3.2 Voltaje de toque o de contacto máximo permisible.

Es la diferencia de potencial entre dos puntos en la superficie del terreno y cualquier otro punto que pueda ser tocado simultáneamente por una persona, viene dado por la **ecuación 3.5**.

$$Et_{(MAX)} = \frac{165 + 0.25\rho_s}{\sqrt{t}} \quad (3.5)$$

Donde:

- Et → Voltaje máximo de toque o contacto.
 ρ_s → Resistividad del cuerpo.
 t → Tiempo de operación de las protecciones.

Reemplazando valores se obtiene:

$$Et_{(MAX)} = \frac{165 + (0.25 * 10^7)}{\sqrt{1.2}}$$

$$Et_{(MAX)} = \frac{167.5}{1.095}$$

$$Et_{(MAX)} = 152.96 \text{ V}$$

El valor de corriente máxima de falla desde el lado de la línea fue calculada en el Capítulo III, numeral 3.2.1, corriente de cortocircuito fase tierra que tiene un valor de 1522,4 Amp.

Puestos que ésta corriente es una falla fase- tierra su onda de corriente es asimétrica, por esta razón se considera superpuesta a una corriente DC que debe ser compensada. La compensación se realiza mediante el Factor de Decremento D y se expresa mediante la **ecuación (3.6)**.

$$I_{DC} = D * I_{CC} \quad (3.6)$$



Donde:

- I_{DC} → Corriente continua.
 D → Factor de decremento⁵⁰ = 1.2
 I_{CC} → Corriente de cortocircuito

Reemplazando valores se obtiene:

$$I_{DC} = 1.2 * 1522.4$$

$$I_{DC} = 1826.38 \text{ [A]}$$

3.3.3 Área transversal del conductor a enterrarse.

Para calcular la sección del conductor se aplica la **ecuación 3.7**.

$$A_c = I_{cc} \left\{ \frac{33 * t}{\log \left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right)} \right\}^{1/2} \text{ [CM]} \quad (3.7)$$

Donde:

- A → Área transversal del conductor que se va a enterrar.
 T_m → Máxima temperatura permisible para el material de la malla;
siendo de 250° C^{51} para amarre pernado.
 T_a → Temperatura ambiente de los conductores, se toma valores
alrededor de 30° C .
 S → Tiempo en segundos que circulará la corriente I_{DC} para cuestiones
de diseño se asume un valor de $0,2 \text{ seg}^{52}$.

⁵⁰ STD Norma 80 IEEE. Guide for Ssfety in Alternating-Current Substation Grouding. NY.1961.

⁵¹ IDEM.

⁵² STD Norma 80 IEEE. Guide for Ssfety in Alternating-Current Substation Grouding. NY.1961.



Reemplazando valores se obtiene:

$$A_c = 1522.4 \left\{ \frac{33 * 0.2}{\log \left(\frac{250 - 30}{234 + 30} + 1 \right)} \right\}^{1/2}$$

$$A_c = 1522.4 \left\{ \frac{6.6}{0.2559} \right\}^{1/2}$$

$$A_c = 7731.53 \text{ CM}^2$$

Entonces $7731.53 \text{ CM}^2 = 3.8654 \text{ mm}^2$

Aproximando al calibre mínimo permitido por la Norma 80 de la IEEE, que señala que es el conductor 2/0 AWG que tiene un diámetro de 10.52 mm^2 .

3.3.4 Longitud del conductor a enterrarse.

Para determinar el valor de la resistividad del suelo en el cual se ha de enterrar el conductor de la malla de puesta a tierra se realizó mediciones en el terreno con el equipo llamado meger y optando la técnica de picas enteradas a una distancia de 3 m, los resultados se presentan a continuación:

Medición	Distancia entre electrodos (m)	Resistencia (Ω)
1	3	4.5
2	3	3.91
3	3	3.2
4	3	2.79
5	3	3.2

Calculando el valor promedio de las mediciones tenemos:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}$$



$$R = 3.52(\Omega)$$

Por lo tanto, la resistividad del terreno se calcula por medio de la **ecuación 3.8**.

$$\rho = R * 2 * \pi * a \quad (3.8)$$

Donde:

- ρ → Resistividad del terreno.
- R → Resistencia del terreno.
- a → Distancia entre electrodos..
- π → Constante matemática.

Reemplazando valores se obtiene:

$$\rho = 3.52 * 2 * 3.1416 * 3$$

$$\rho = 66.351$$

Por lo tanto, la longitud del conductor a enterrarse se calcula aplicando la **ecuación 3.9**.

$$L = \frac{K_m * K_i * \rho * \sqrt{t} * I_{DC}}{165 + 0.25 * \rho_s} \quad (3.9)$$

Siendo:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{D^2}{16h * d}\right) + \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{3}{4}\right) * \left(\frac{5}{6}\right) * \left(\frac{7}{8}\right) * \left(\frac{9}{10}\right)$$

$$K_i = 0.65 + 0.172 * n$$

Donde:

- D → Separación de los conductores de la malla en paralelo.
- ρ → Resistividad del terreno.
- d → Diámetro del conductor a enterrarse.
- h → Altura a la que está enterrada la malla.
- n → Número de conductores en paralelo en la malla.

- La malla de tierra será enterrada a una profundidad de 0.60 metros⁵³, para facilitar cualquier trabajo sobre ella durante su implementación.
- Se tomará el lado más pequeño de la malla de tierra que dispone de 3 conductores en paralelo, de acuerdo al *diagrama 3.1* que se muestra a continuación:

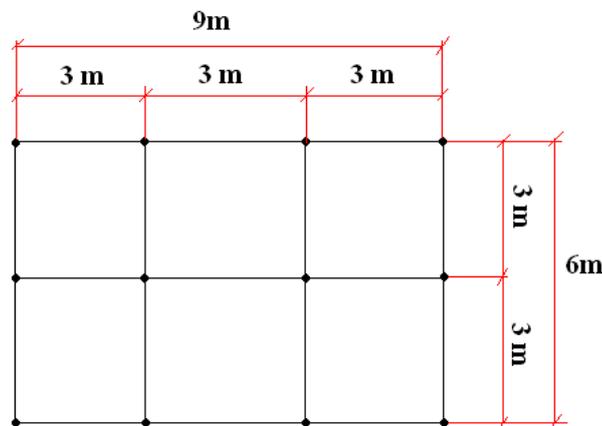


Diagrama 3.1 Disposición de la Malla de Puesta a Tierra.

Con estos datos se obtiene:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \left(\frac{3^2}{16 * 0.6 * 0.1052} \right) + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4} \right) * \left(\frac{5}{6} \right) * \left(\frac{7}{8} \right) * \left(\frac{9}{10} \right)$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln [0.991] + \frac{1}{\pi} \ln [0.491]$$

$$K_m = 0.1591 \ln [0.991] + 0.3183 \ln [0.491]$$

$$K_m = 0.1591 * 2.1873 + 0.3183 * (-0.711)$$

$$K_m = 0.1216$$

$$K_i = 0.65 + [0.172 * 3]$$

$$K_i = 1.166$$

⁵³ BRITO J, BURBANO B, ESPIN E, ZULETA L, PINTO E, DIAZ R. Alto Voltaje II, Universidad Politécnica Salesiana Quito-Ecuador Página 14



Reemplazando valores en la ecuación 3.9 se obtiene:

$$L = \frac{0.1216 * 1.166 * 66.351 * \sqrt{1.2} * 1826.38}{165 + 0.25 * 10}$$
$$L = \frac{0.1216 * 1.166 * 66.351 * 1.095 * 1826.38}{165 + 0.5}$$
$$L = \frac{18745.43}{167.5}$$
$$L = 111.91 \text{ m}$$

Debido a la disposición de los equipos en la subestación, de las dimensiones de la misma, del mallado de los conductores a enterrarse, de la varilla de puesta a tierra unida por medio de conectores y por la necesidad de reducir al máximo la resistencia de la malla de tierra, se dispondrá de 150 metros de conductor a enterrarse.

3.3.5 Disposición de la malla de tierra.

- Se dispone de una área existente para la casa de maquinas y subestación de 42 m² donde se enterrará la malla de puesta a tierra.
- Se ha diseño construir una malla de tierra que abarque dicha área de construcción con 3 conductores horizontales y 4 conductores verticales como se puede apreciar en el diagrama 3.1 (*Disposición de la malla de puesta a tierra*).
- Las uniones en la malla de puesta a tierra a ser enterrada será por medio de conectores adecuados para éste tipo de conexiones, se enterrarán 12 varilla Coperweld y se utilizarán 12 conectores.



3.3.6 Comparación de los Resultados.

Para determinar si el sistema de tierras diseñado es el adecuado para la instalación será necesario calcular su resistencia y voltaje que se presentará en la malla el momento de la falla.

– **Resistencia de la malla:**

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

Donde:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} ; A = 42 \text{ m}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{42}{3.1416}}$$

$$r = \sqrt{\frac{42}{3.1416}}$$

$$r = 3.656 \text{ (m)}$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$R = \frac{66.351}{4 * 3.656} + \frac{66.351}{41.63}$$

$$R = 6.13 \text{ (}\Omega\text{)}$$

– **Incremento máximo de potencial de la malla:**

–

$$IR = I_{DC} * R$$

$$IR = 1826.38 * 6.13$$

$$IR = 11195.709 \text{ (V)}$$

– **Voltaje de falla de la malla:**

$$E_m = K_m * K_i * \rho * \frac{I_{DC}}{L_f}$$

$$E_m = 0.1216 * 1.166 * 66.351 * \frac{1826.38}{150}$$



$$E_m = 114.54 \text{ V}$$

– *Voltaje de paso:*

$$E_p = K_s * K_i * \rho * \frac{I_{DC}}{L_f}$$

Donde:

$$K_s = \frac{1}{\pi} * \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \frac{1}{4D} + \frac{1}{5D} \right]$$

$$K_s = 0.156$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$E_p = 0.156 * 1.166 * 66.351 * \frac{1826.38}{150}$$

$$E_p = 146.83 \text{ V}$$

Entonces analizando resultados tenemos:

$$E_p \wedge E_m < E_{P(MAX)} \wedge E_{t(MAX)}$$

$$146.83 \wedge 114.54 < 159.75 \wedge 152.96$$

Por lo tanto el diseño de la malla de puesta a tierra cumple con los requerimientos.

3.4 DISEÑO DE LAS INSTALACIONES.

Las instalaciones que albergaran al transformador de potencia, sus distancias de seguridad, así como toda su paramenta, deben cumplir con las normas del Código de Practica Ecuatoriano (*Normativa Internacional NEC*) y para efectos de diseño, se



aplicaran las normas de la Empresa Eléctrica Quito S.A, en su sección B-70 (*Redes Subterráneas*).

3.4.1 Condiciones Técnicas de la Obra Civil.

a) Emplazamiento

El lugar donde se ubicará el transformador de potencia debe permitir el adecuado acceso para la colocación y desmontaje del equipo, Básicamente la subestación de la micro central será sencilla debido a la potencia de la misma, la instalación debe cumplir con las normas antes mencionadas, así como también deben ser en su totalidad no inflamable.

Las distancias de seguridad y la ubicación de los elementos vivos (*alto o medio voltaje*) de la subestación son los que describen las normas de la EEQSA⁵⁴.

b) Cimientos

Se realizarán con hormigón dosificado a razón de 250 Kg/m³ y el mortero de capa a razón de 600 Kg/m³ (*Según los Estudios de Obras Civiles*)⁵⁵ y tendrán una profundidad de 1.0 m y un ancho de 0.40 m por lo que se tomaran las medidas necesarias para la estabilidad de la edificación⁵⁶.

c) Base o piso

Como se hizo referencia en el numeral 2.1.1, apartado C del Capítulo II (*Condiciones Técnicas de la Obra Civil de la Casa de Máquinas*), se explica detalladamente el tipo

⁵⁴ Empresa Eléctrica Quito S:A, Normas para Sistemas de Distribución- Parte B- Guía para Diseño- Quito .Sección B-70

⁵⁵ Estudios de Pre-Factibilidad. Diseños de Obras Civiles. Página - 110

⁵⁶ Idem. Página -110



y estilo de construcción del piso de las instalaciones, pero cabe destacar en esta sección que adicionalmente se realizará un canal, alrededor del transformador de potencia, que para el caso puntual de la central, es un equipo de una potencia de 160 KVA bañado en aceite, dicho canal permitirá evacuar el aceite ya sea por desperfectos en el equipo o mantenimiento, estará recubierto de material que nos permita adsorber el líquido sobrante o acumulado.

Como obra suplementaria se realizarán en el piso canales donde se colocarán los cables de baja y media tensión, los lugares de paso de los canales estarán cubiertos de losas o tapas móviles basándose en las normas de la EEQSA en la parte B, en su sección B-70 (*Redes Subterráneas*) de la Guía de Diseño.

d) Estructuras de soporte.

La estructura de soporte o columnas de la edificación serán internamente de cadenas de hierro y recubiertas de hormigón dosificado a razón de 250 Kg/m^3 de una altura de 4.0 m. Las columnas se unirán una con otra mediante estructuras metálicas llamadas cadenas de 6.0 m de largo y 0.10 m de ancho recubiertas con pintura de una calidad adecuada para evitar óxido y corrosión.

e) Mampostería (Paredes).

Los muros de la subestación serán de ladrillo macizo de un espesor de 15 cm, revestidos interna y externamente por cemento Portland. El acabado interior será liso y preparado para ser recubierto de pintura de la calidad y color que se adapte al medio ambiente.

f) Cubierta o techo

La cubierta se la realizará con planchas de zinc de hormigón de 3.0 m de largo y 1.20 m de ancho de forma que las instalaciones en su interior queden debidamente protegidas de alguna filtración de agua, sujetas a la estructura metálica con pernos adecuados para



este trabajo. En sus alrededores se colocara canales para permitir el deslizamiento del agua lluvia. En su interior no es necesario realizar ninguna obra de recubrimiento. La cubierta está diseñada para soportar una sobrecarga de 100 Kg/m^3 .

g) Ventilación

Normalmente se recurrirá a la ventilación natural que consistirá en una o varias ventanas situadas de tal manera que permita una adecuada circulación de aire, colocadas a una distancia de 1.20 m del nivel del suelo como mínimo.



CAPITULO IV

DISEÑO DE LA RED DE TRANSMISIÓN Y RED DE DISTRIBUCIÓN

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE TRANSMISIÓN.

La línea de transmisión para el caso en particular será una línea de distribución debido a su nivel de voltaje, tiene su inicio a la salida de la subestación de elevación, básicamente en la estructura que se instalará a la salida del transformador de potencia, en donde se instalarán todas las protecciones como: juego de seccionadores, juego de pararrayos, reconectador automático (*si es el caso*), etc. Los cuales se lo dimensionará más adelante en numeral 4.5 (*Diseño de Protecciones*) ubicado en la página 145 que hace parte de éste estudio de investigación.

La línea de transmisión comprende una distancia aproximada de 4 Km, desde la subestación (220/440V/13800V), hasta la zona de población de Wuamaní, donde se abastece una carga aproximada de 120KW, dividida en tres comunidades y una unidad educativa, así como alumbrado público.

El tipo de estructuras para los diferentes tramos de la línea dependerá básicamente de la topología del terreno, así como las condiciones de la ubicación de cada una de las estructuras, para el estudio en particular la línea de distribución se divide en dos tramos importantes:

- Una primera etapa consiste en una pendiente pronunciada con una distancia aproximada de 750 m, en donde se ubicarán las estructuras necesarias, ajustadas a las normas de la Guía de Diseño - Parte B - Estructuras de Soporte - Sección B-10 - Ensamblaje de líneas de distribución a 22.8 GRDY/13,2 KV de la Empresa Eléctrica Quito S.A, las que se encuentran explicadas en el numeral



4.3.3.1 (*Estructuras de Soporte*) ubicado en la página 140 de éste estudio de investigación.

- La segunda etapa se ubica paralelamente a la vía de segundo orden hasta llegar a la población de Wuamaní, utilizando postes de hormigón con vanos aproximados de 150-200 m y manteniendo en todo el trayecto las caídas de voltaje admisibles que serán calculadas en desarrollo del diseño.

Debido a la ubicación del proyecto y su nivel de voltaje, se aplicarán los criterios de diseño y normas que se encuentran debidamente especificados en la Guía de Diseño Parte III – Redes Aéreas de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A y Empresa Eléctrica Quito S.A, Normas para Sistemas de Distribución - Parte A y B- Guía para Diseño.

4.2 UBICACIÓN Y TRAYECTORIA DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.

Ubicados los puntos de partida y el punto de llegada, es necesario determinar el recorrido real que tendrá la línea, a fin de determinar con exactitud los principales parámetros de diseño, tales como la longitud, los cambios de dirección y los cambios de cotas, así como las condiciones climáticas a las que la red estará sometida.

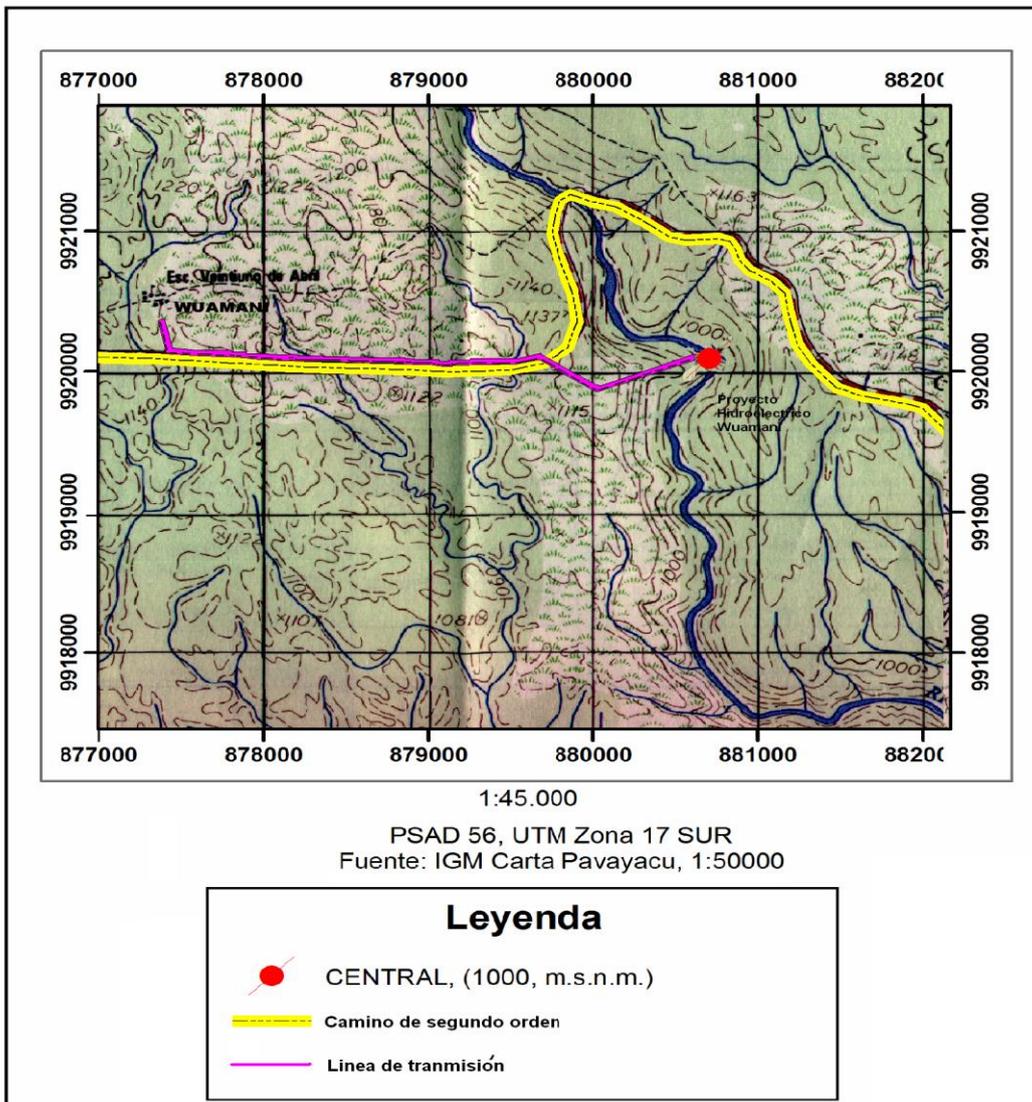
Para la ubicación y trazado de la línea de transmisión se realizó un pre- trazado mediante información cartográfica, uniendo los puntos de partida y llegada con la línea más corta posible, tratando de evitar los accidentes geográficos de difícil paso o acceso y aprovechando las ventajas del terreno, así como caminos, linderos de propiedades, etc.

Para el caso en particular de la línea de transmisión de la micro central hidroeléctrica PUCUNO, se realizó el pre-trazado y se confirmó ese recorrido en campo donde se pudo determinar la posibilidad real de que la línea se construya por la ruta pre-seleccionada. Una vez determinado el trazo de la línea, se realizó un levantamiento



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

topográfico de la ruta y se ubicó y marcó el terreno por donde se construirá la línea, tratando en lo posible evitar dañar la flora y fauna natural de la zona. Para el trazado de la línea se consideran vanos de 100 a 150 m, la trayectoria de la línea de transmisión se la puede observar en la carta cartográfica que se presenta a continuación.





4.3 DISEÑO DE LA RED DE TRANSMISIÓN.

4.3.1 Condiciones Generales del Sistema.

➤ *Voltajes de Operación*⁵⁷.

Los valores nominales de voltaje y los diferentes componentes del sistema son los siguientes:

– <i>Sub-transmisión</i>	<i>69 KV</i>
– <i>Alimentadores, líneas y redes primarias de distribución</i>	<i>13,8 / 7,9 KV</i>
– <i>Circuitos secundarios trifásicos</i>	<i>208 / 120 V</i>
– <i>Circuitos secundarios monofásicos</i>	
<i>Voltaje (2 Hilos)</i>	<i>120 V</i>
<i>Voltaje (3 Hilos)</i>	<i>240 / 120 V</i>

➤ *Configuración del Sistema.*

Las líneas primarias a 13,8 / 7,9 KV, están conformadas con uno, dos o tres conductores de fase y un conductor de neutro continuo, sólidamente puesto a tierra a partir de la subestación y común con los circuitos secundarios

➤ *Áreas de consumo.*

Dentro del área de concesión de la Empresa Eléctrica Ambato – Regional Centro Norte S.A y para propósitos de utilizar la Guía de Diseño, se realiza una división en áreas urbanas y rurales. Las áreas urbanas comprenden las superficies consolidadas de las

⁵⁷ Guía de diseño Parte III – Redes Aéreas – Empresa Eléctrica Ambato – Regional Centro Norte S.A.
Página 2



cabeceras cantonales. El área restante se considera como rural. Para el caso en particular que es motivo de éste estudio se van a considerar las zonas rurales.

➤ *Nivel de aislamiento*⁵⁸.

El aislamiento del sistema debe ser capaz de mantener las redes y equipos operando al voltaje nominal y a los sobre voltajes de fallas y maniobra, razón por la cual, se ha considerado las condiciones atmosféricas y las características del sistema eléctrico para establecer los niveles de aislamiento:

CONCEPTO		NIVEL BASICO DE IMPULSO (BIL KV)
Voltaje Primario	Equipos tipo distribución	95
	Equipos tipo Subestación	110
Voltaje Secundario	Equipos	30

➤ *Niveles de Cortocircuito*⁵⁹.

Con el propósito de mantener el equipo de seccionamiento e interrupción sobre el nivel de cortocircuito esperado, a continuación, diferenciándose por el área de servicio, se indican los valores máximo admisible de la corriente de cortocircuito simétrica para líneas y redes primarias.

AREA	CORRIENTE DE CC.SIMETRICA (KA)
Urbana	7.7
Rural	4.3

⁵⁸ Guía de diseño Parte III – Redes Aéreas – Empresa Eléctrica Ambato – Regional Centro Norte S.A.
Página 3

⁵⁹ Guía de diseño Parte III – Redes Aéreas – Empresa Eléctrica Ambato – Regional Centro Norte S.A.
Página 3



4.3.2 Parámetros de Diseño.

4.3.2.1 Clasificación de consumidores.

Especificada la zona donde se llevará a cabo el proyecto de electrificación, que para el caso puntual es la cubierta con las normas de la Empresa Eléctrica Ambato S.A, y debido a la ubicación (*zona rural*), el usuario definido para esta zona se caracteriza por ajustarse a la categoría C o D de acuerdo a los siguientes procedimientos:

- Conglomerado, y grupos compactos de habitantes, o por otra parte, aquellos cuyo consumo específico sea de 60 a 150 Kwh, se ubica en la categoría C⁶⁰.
- Zonas de carga dispersas o que a su vez tengan un consumo específico menor a los 60 Kwh se asigna a la categoría D⁶¹.

Cabe señalar que existen cinco tipos de consumidores A, B, C, D, E, los cuales se clasifican según el estrato social, esto quiere decir que, el consumidor tipo A se refiere a un estrato social alto o residencia que se ubicará en sectores exclusivos y tiene un consumo en KWh alto, el tipo B es un usuario con un consumo en KWh medio, lo que significa un estrato social moderado, los tipo C y D por el consumo de KWh se los puede relacionar con un usuario con un estrato social bajo, estos consumidores se los ubica en las área rurales y finalmente los tipo E los cuales se los considera usuarios aislados con un estrato social muy bajo.

⁶⁰ Guía de diseño Parte III – Redes Aéreas – Empresa Eléctrica Ambato – Regional Centro Norte S.A. Página 5

⁶¹ Guía de diseño Parte III – Redes Aéreas – Empresa Eléctrica Ambato – Regional Centro Norte S.A. Página 5.



4.3.2.2 *Periodos de Diseño.*

Para el dimensionamiento de los componentes de la red, deberán considerarse los valores de la demanda de diseño proyectada para los siguientes periodos determinados por la norma de la Empresa Eléctrica Quito S.A en su Sección A-11.06 (*Periodos de Diseño*)⁶², contados a partir de la fecha de ejecución del proyecto:

- *Red Primaria* *15 años*
- *Centros de transformación y red secundaria* *10 años*

4.3.2.3 *Caídas de Tensión Admisible.*

La caída máxima de voltaje admisible según la norma de la Empresa Eléctrica Quito S.A en su Sección A-11.07 (*Caídas de Tensión*)⁶³, en el punto más alejado de la fuente de alimentación, con la demanda de diseño establecida y expresada en porcentaje del valor de tensión nominal fase - tierra del sistema, no deberá superar los siguientes límites:

- Red Primaria de media tensión:

USUARIO TIPO	CAIDA ADMISIBLE %
A	2.0
B	3.5
C	3.5
D	3.5
E	6.0

⁶² Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño – Página 42.

⁶³ Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño – Página 42.



– Red secundaria:

USUARIO TIPO	CAIDA ADMISIBLE %
A	3.0
B	3.5
C	3.5
D	3.5
E	4.0

4.3.2.4 Tipo de instalación.

El tipo de instalación de los elementos de la red: subterránea con conductores aislados y centro de transformación en cámaras, aérea con conductores desnudos y centros de transformación sobre estructuras de soporte, será establecida por la norma de la Empresa Eléctrica Quito S.A en su Sección A-11.08 (*Tipo de instalación*)⁶⁴, de manera general, en función de la demanda de diseño, capacidad de los transformadores y sección de los conductores de la red, para el tipo de instalación se adoptarán las siguientes disposiciones:

USUARIO TIPO	TIPO DE INSTALCION
A	Subterránea
B	Subterránea o Aérea
C	Aérea
D	Aérea
E	Aérea

⁶⁴ Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño – Página 43.



4.3.2.5 Configuración de Circuitos.

La configuración de los circuitos para las redes de media y baja tensión a considerar, están relacionados con la demanda de diseño, la tensión primaria y el tipo de instalación según la norma de la Empresa Eléctrica Quito S.A en su Sección A-11.09 (*Configuración de Circuitos*)⁶⁵, salvo en casos especiales, deberán mantenerse las relaciones que se indican a continuación:

USUARIO TIPO	TIPO DE INSTALCION	CONFIGURACION DE CIRCUITOS	
		MEDIA TENSION	BAJA TENSION
A	Subterránea	Trifásico	Trifásico
B	Subterránea o Aérea	Trifásico	Trifásico
C y D	Aérea	Trifásico o Monofásico	Trifásico o Monofásico
E	Aérea	Monofásico	Monofásico

4.3.3 Diseño de la Red Primaria.

Para la red primaria que abastecerá la demanda de la población de Wamaní, se tomará en cuenta las consideraciones antes mencionadas, en el caso en particular de la Micro Central Hidroeléctrica PUCUNO, la línea de alimentación primaria a 13,8/7,9 KV según la norma de la Empresa Eléctrica Ambato S.A - Guía de Diseño - Parte III – Redes Aérea – Página 2 y nace a la salida de la subestación, será del tipo radial trifásica con neutro corrido (*4 Hilos*) sólidamente puesto a tierra según el numeral 4.3.1 (*Condiciones Generales del Sistema – Configuración del Sistemas – Página 120*), la caída de tensión desde el punto de inicio hasta el punto más alejado de la redes primarias de media tensión, no debe exceder el 3.5% de acuerdo al literal 4.3.2.3 (*Caídas de voltaje- Página 123*), el calibre mínimo del conductor será 1/0 AWG, el

⁶⁵ Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño – Página 44.



diámetro del conductor de aleación de aluminio deberá corresponder a los diámetros de los calibres normalizados para el conductor ACSR de la red primaria⁶⁶, proyectada para un periodo de 15 años⁶⁷.

Una vez establecidos los antecedentes anteriores, es necesario determinar el tipo de usuario al cual se va a suministrar el servicio. Esta clasificación de los consumidores se la realiza con referencia al Reglamento de Zonificación. Que por las características del poblado de Wuamaní, se determina una zona rural, un consumidor que resida en ésta urbanización pertenecerá al usuario tipo C, cabe mencionar, que el consumo mínimo existente, de acuerdo a las características del proyecto, número de usuarios, iluminación pública, etc, deberá tener un consumo restringido, debido a la potencia disponible desde la micro central hidroeléctrica, ésta será aproximadamente de 5 KW por cada usuario, ya que se dispone de 120 KW (*Potencia máxima generada a régimen continuo*), para toda la población, cargas especiales y alumbrado público. Los límites de carga por consumidor se lo realizará apropiadamente para evitar problemas de sobrecarga en el futuro.

4.3.3.1. Estructuras de soporte.

Como se explicó en el numeral 4.1 (*Descripción de la red de transmisión*), la línea de transmisión se subdivide en dos tramos, el primero de una longitud de 750 m ubicada en una pendiente y el segundo tramo que será paralela a la vía de segundo orden, que en su totalidad cubrirá un longitud de 4 Km. Éste trayecto de la línea estará regulado y diseñada según las Normas para Sistemas de Distribución - Parte B – Estructuras Tipo – Sección B10 – 08 de la Empresa Eléctrica Quito S.A.

⁶⁶ Guía de diseño Parte III – Redes Aéreas – Empresa Eléctrica Ambato – Regional Centro Norte S.A. Página 7.

⁶⁷ Guía de diseño Parte III – Redes Aéreas – Empresa Eléctrica Ambato – Regional Centro Norte S.A. Página 7.

Al inicio de la línea de transmisión se ubicará una estructura tipo LVA 4 como se indica en la **figura 4.1**, con anclaje inclinado, ubicada en poste de hormigón de 11.5m, con aisladores de suspensión de caucho siliconado tipo polímero para 22 KV, aisladores de suspensión tipo ANSI 52-3 a 22 KV. A continuación se ubicarán estructuras tipo LVA 1 como se muestra en la **figura 4.2**, utilizando postes de hormigón de 11.5 m en vanos de 150 m, hasta llegar a la cumbre de la pendiente, donde se instalará una estructura tipo LVA 3 indicada en la **figura 4.3**. Todas las estructuras contarán con los elementos básicos para su instalación, la lista de elementos de cada estructura se muestra en el **Anexo 1** que se adjunta a éste documento y se encuentra en la pagina 199.

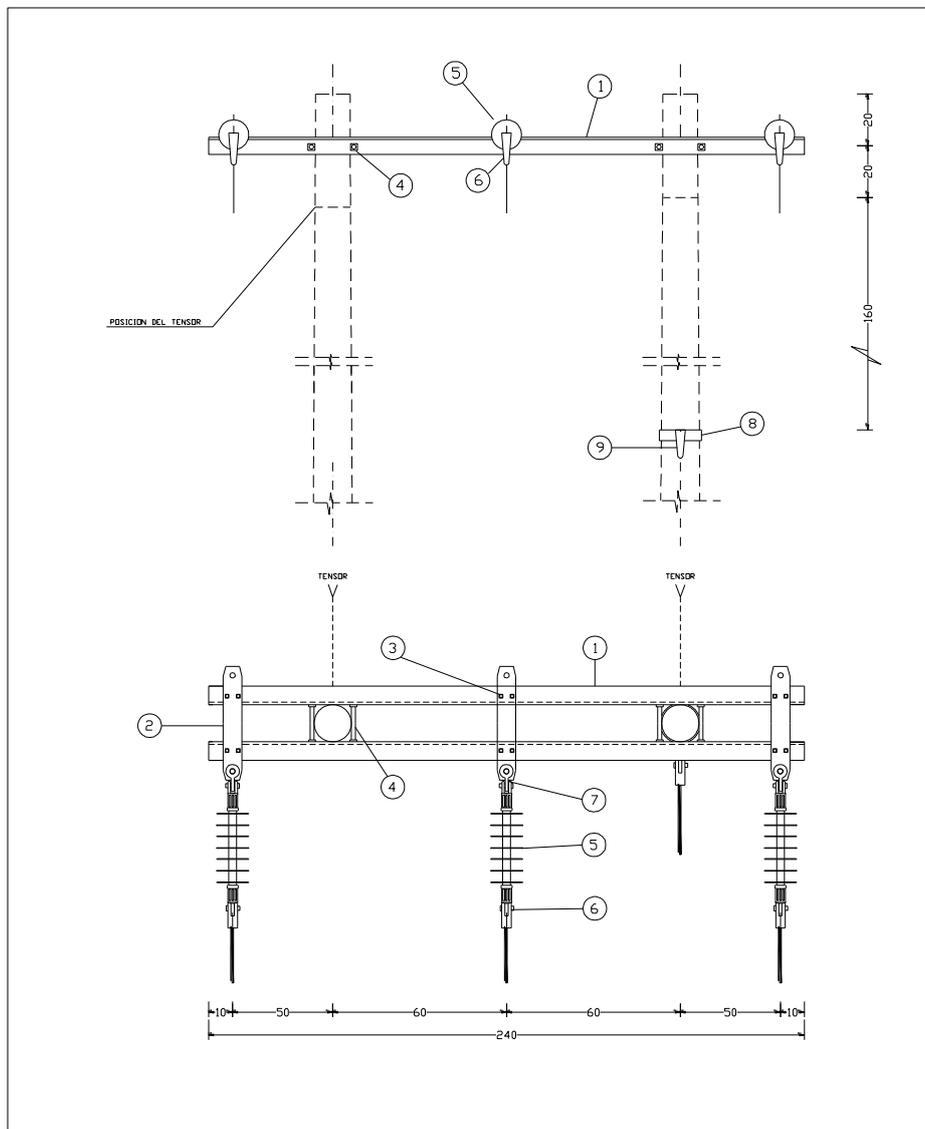


Figura 4.1 Estructura Tipo LVA 4

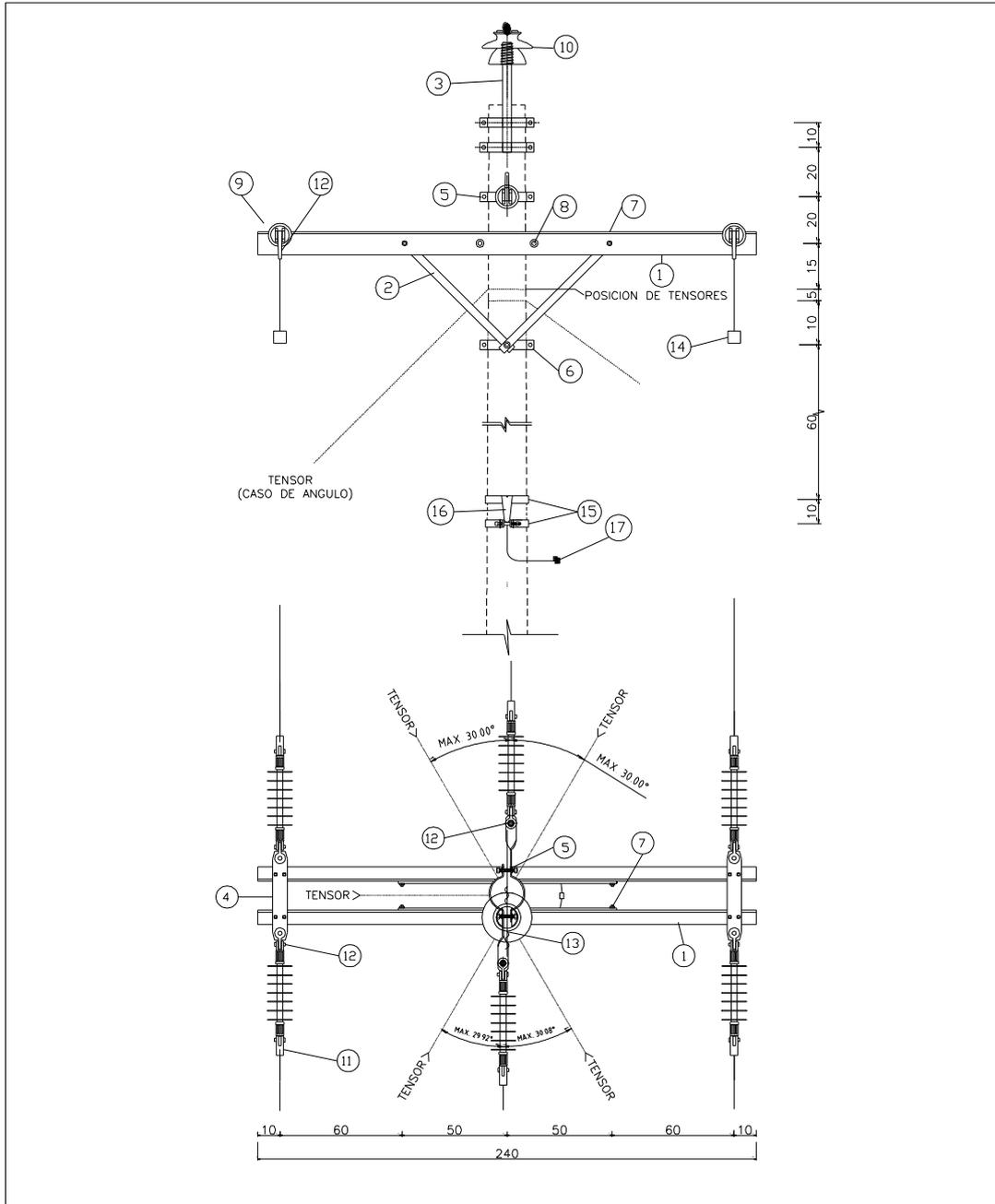


Figura 4.3 Estructura Tipo LVA 3



Para la segunda etapa se utilizarán estructuras tipo LVA1 (*Ver figura 4,2*), según las Normas de la Empresa Eléctrica Quito S.A, Sistemas de Distribución - Parte B- Estructuras Tipo – Sección B10 -01, las cuales se recomienda para tramos tangenciales, en vanos de 100 a 150 m uno del otro y adecuadas para curvas o ángulos.

4.4 ANÁLISIS DE LA CAÍDA DE VOLTAJE.

4.4.1 Cálculo de la caída de tensión en el alimentador primario.

Para el cómputo de la caída de tensión de la línea de transmisión, que como se explicó en el numeral 4.1 (*Descripción de la línea de transmisión-Página 117*) , una línea de distribución debido a su nivel de voltaje, esto es, desde el punto de entrega del transformador de potencia hasta la población de Wamaní, se tomará como referencia el procedimiento descrito en la norma de la Empresa Eléctrica Quito S.A, en su Sección A-12,08 - Página 56 “*COMPUTO DE LA CAÍDA DE TENSION EN REDES PRIMARIAS*”⁶⁸ y dentro de los límites fijados en la Sección A-11-07- Página 42 “*CAIDAS DE TENSION ADMISIBLE*”⁶⁹. El formato para el cómputo de la caída de voltaje en alimentadores primarios básicamente es similar tanto en la Empresa Eléctrica Quito S.A y la Empresa Eléctrica Ambato S.A, razón por la cual se utilizará el formato presentado en el Apéndice A-12-D de las Normas para Sistemas de Distribución – Parte A - Empresa Eléctrica Quito S.A, cuya aplicación y formato se describe a continuación:

1. Anotar los datos generales del proyecto en los espacios correspondientes dispuestos en la parte superior del formato.
2. Representar esquemáticamente la red a partir del punto de alimentación, de acuerdo con la configuración del proyecto con la localización de los centros de transformación y la indicación de la separación entre los mismos expresada en

⁶⁸ Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño – Página 56.

⁶⁹ Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño – Página 42.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

kilómetros; los centros de transformación se identificarán por su número correspondiente y su capacidad nominal en KVA.

3. Designar cada uno de los puntos de conexión de la línea, los centros de transformación y los puntos de derivación de los ramales de la red, con una numeración progresiva, partiendo de cero en el punto de alimentación a la red.
4. Anotar junto a cada centro de transformación y a cada punto de derivación el valor de la potencia expresada en KVA correspondiente a la sumatoria de las capacidades nominales de los centros de transformación que se encuentran localizados desde el punto considerado hacia los extremos de la red más alejada del punto de alimentación, que representa la potencia transferida desde el punto considerado hacia la carga.
5. Anotar en la columna 1 la designación del tramo de red comprendido en centros de transformación por la numeración que corresponde a sus extremos y partiendo del punto de alimentación a la red; además, anotar la longitud del tramo en la columna 2.
6. Anotar en la columna 3 el número de centros de transformación correspondientes al extremo de cada tramo y en la columna 4 la capacidad nominal del transformador expresada en KVA.
7. Anotar en la columna 5, el valor de la potencia transferida asociada al tramo considerado.
8. En las tres columnas siguientes se anotarán las características de la línea correspondientes al tramo considerado: en la columna 6, el número de fases; en la columna 7, la sección o calibre del conductor y en la columna 8 el valor de los $KVA \times Km$ para el 1% de la caída de tensión, característico del conductor y de la configuración del circuito, obtenidos de la tabla del Apéndice A-12-E.



9. En la columna 9,10 y 11 se registrarán los resultados del computo realizado, en la siguiente forma: en la columna 9 el valor resultante del producto de la potencia en KVA, transferida (*columna 5*), por la longitud del tramo en Km (*columna 2*).
10. En la columna 10 se anota el valor de la caída de tensión en el tramo, expresada en porcentaje de la tensión nominal, que se obtiene del cociente del valor anotado en la columna 9 por el correspondiente de la columna 8.
11. En la columna 11, se verifica la sumatoria de las caídas de tensión parciales por tramo siguiendo los caminos que conduzcan desde el punto de alimentación a la red hasta los puntos extremos de los ramales previstos.

– **Procedimiento de Cálculo:**

Como manera de ejemplo de la aplicación del formato antes descrito, se realiza el cálculo de la caída de tensión en el tramo 1-2 de la línea primaria según los siguientes datos:

- Tramo: 1-2
- Longitud: 3,9 Km
- Potencia del transformador: 25 KVA
- Carga total transferida: 200 KVA
- Número de fases: 3
- Calibre del conductor: 1/0 ASCR

Los valores que se deben calcular son los ubicados en la columna 9, se obtiene de la multiplicación de la columna 5 y 2 se tiene:

$$KVA - Km = KVA * Longitud \text{ (Km)}$$

$$KVA - Km = 95 * 3.9 \text{ (KVA - Km)}$$

$$KVA - Km = 370.5 \text{ (KVA - Km)}$$



Los valores de la columna 10, se obtienen del cociente de KVA - KM de la columna 9 y la columna 8 se obtiene⁷⁰:

$$DV\%_{PARCIAL} = \frac{KVA - Km \text{ Columna 9}}{KVA - Km \text{ Columna 8}}$$

$$DV\%_{PARCIAL} = \frac{370.5}{6540}$$

$$DV\%_{PARCIAL} = 0.0566$$

El formato y cómputo para determinar la caída de tensión en el alimentador primario se presenta a continuación “*CÁLCULO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO*”.

RED PRIMARIA											
COMPUTO DE CAIDA DE TENSIÓN EN CIRCUITOS PRIMARIOS											
PROYECTO: WAMANI			TENSION: 13.8 KV			No FASES: 3					
No. PROYECTO 1			LIMITE CAIDA DE TENSION: 1.00%								
TIPO INSTALACION: AEREA			MATERIAL CONDUCTOR: ASCR								
ESQUEMA:											
ESQUEMA					LINEA			COMPUTO			
TRAMO		CENTRO DE TRANSF.		CARGA TOTAL KVA	FASES	CONDUCTOR		KVA-KM	DV(%)		
DESIG	LONG	N°	KVA			CALIBRE	KVA-KM		PARCIAL	TOTAL	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0-1	3.900	CT-1	25	95	3	1/0	6540	370.50	0.0567	0.0567	
1-5	0.520	CT-2	10	15	3	1/0	6540	7.80	0.0012	0.0578	
2-3	0.270	CT-3	15	70	3	1/0	6540	18.90	0.0029	0.0607	
5-6	0.530	.....	.....	20	3	1/0	6540	10.60	0.0016	0.0624
6-7	0.320	CT-4	10	10	3	1/0	6540	3.20	0.0005	0.0628	
3-4	0.210	CT-5	15	30	3	1/0	6540	6.30	0.0010	0.0638	
1-8	0.630	.....	.....	20	3	1/0	6540	12.60	0.0019	0.0657
8-9	0.070	.....	.....	20	3	1/0	6540	1.40	0.0002	0.0659
9-10	0.079	CT-6	10	20	3	1/0	6540	1.58	0.0002	0.0662	
10-11	0.270	.....	.....	10	3	1/0	6540	2.70	0.0004	0.0666
11-12	0.232	CT-7	10	10	3	1/0	6540	2.32	0.0004	0.0670	
REALIZO:			REVISO:			APROBO:					

⁷⁰ En el Apéndice A-12- E especifica que el valor de 6540 es la constante que corresponde al calibre 1/0 ASCR.



Terminado el cálculo de la caída de voltaje y considerando los valores en la planilla respectiva, se verifica si los valores de caída de voltaje total no sobrepase el 3.5 %, de tal manera que, al continuar el servicio hacia otra u otras instalaciones, las condiciones de regulación cumplan con los requerimientos técnicos de la Empresa reguladora.

4.5 DISEÑO DE PROTECCIONES.

En la ésta sección se establecen los criterios generales y los requerimientos mínimos para la selección y aplicación de los dispositivos de seccionamiento y protección que deberán ser considerados para la línea de transmisión para la Micro Central hidroeléctrica PUCUNO, con el propósito de alcanzar un índice razonable de confiabilidad y para facilitar la operación y el mantenimiento de la instalación de la red.

4.5.1 Dispositivos de seccionamiento y protección.

Los dispositivos de seccionamiento y protección que se dispondrán para proteger la línea de transmisión de la micro central PUCUNO, en cuanto a su función y tipo de instalación se enuncia a continuación:

1. Seccionador fusible unipolar, el cual es un dispositivo de seccionamiento manual sin corriente de carga, admite el corte de corriente de valor limitado como aquellas de magnetización de transformadores de distribución; además, el elemento fusible incorporado permite obtener una protección de sobre corriente. Para el caso de la red del proyecto PUCUNO se utilizarán seccionadores fusibles unipolares, tipo abierto, adecuados para una tensión de servicio 13,8 KV. Tensión máxima de diseño de 15 KV. Capacidad nominal: 100 A. BIL: 125 V. Completo, con tubo porta fusible y accesorios de soporte para montaje en cruceta de hierro. Estos seccionadores se instalarán al inicio y final de la red⁷¹.
2. Para el caso del transformador de 160 KVA de la subestación, se usarán juego de tres tirafusibles para alta tensión, cabeza removible, tipo K, de 12 A.

⁷¹ Nota: Los seccionadores podrán ser ubicados en cualquier punto de la red si es necesario.



3. Se instalarán juego de tres pararrayos de tipo oxido de zinc, cuerpo polimérico, clase distribución, con disparador, previstos para su operación a una altura de 3000 metros sobre el nivel del mar, tensión de servicio 13,8 KV, tensión nominal de 10 KV, máxima tensión de descarga para una onda de corriente de 8x20 microsegundos, deberá incluir los dispositivos de soporte para montaje en cruceta.

- **Procedimiento de Cálculo:**

La intensidad nominal del transformador en media tensión viene dada por la siguiente expresión:

$$I = \frac{KVA * 1000}{\sqrt{3} * V}$$

$$I = \frac{160 * 1000}{\sqrt{3} * 13800}$$

$$I = 6.6939 \text{ (A)}$$

Por lo que la protección del transformador de 160 KVA serán fusibles de 12 Amperios tipo K. El valor del fusible corresponde a la tabla 4.1 selección de fusibles para transformadores de distribución que describe en su Sección A-13, Apéndice A- 13 –A la Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño.



TRANSFORMADORES TRIFASICOS								
TRANSFORMADOR (KVA)	TENSION PRIMARIA						TENSION SECUNDARIA	
	22.8 KV		13.2 KV		6.0 KV		210 Y / 121 V	
	In	Fusible	In	Fusible	In	Fusible	In	Fusible
30	0.76	2H	1.31	3H	2.75	5H	82.48	63
45	1.14	3H	1.97	5H	4.12	10K	123.71	100
50	1.26	3H	2.19	5H	4.58	10K	137.46	125
75	1.89	5H	3.28	8K	6.87	15K	206.19	160
100	2.53	6H	4.37	10K	9.16	15K	274.92	224
112.5	2.84	6H	4.92	10K	10.31	20K	309.29	224
125	3.16	6H	5.47	12K	11.46	20K	343.65	250
150	3.79	8K	6.56	12K	13.75	25K	412.38	400
180	4.55	8K	7.87	15K	16.5	25K	494.86	400
200	5.05	10K	8.75	15K	18.33	30K	549.84	500
225	5.68	12K	9.84	20K	20.62	40K	618.57	500
250	6.31	15K	10.93	20K	22.91	40K	687.3	600
300	7.58	15K	13.12	25K	27.49	65K	824.76	600
315	7.95	15K	13.78	25K	28.87	65K	866	630
400	10.1	20K	17.49	40K	36.66	65K	1099.68	800
500	12.63	25K	21.87	40K	45.82	100HHC	1374.6	INTER. TERMOMAGNETICO
630	15.91	30K	27.55	65K	57.73	100HHC	1732	INTER. TERMOMAGNETICO
750	18.94	50K	32.8	65K	68.73	100HHC	2061.91	INTER. TERMOMAGNETICO
800	20.2	50K	34.99	65K	73.31	100HHC	2199.91	INTER. TERMOMAGNETICO
1000	25.25	65K	43.74	80K	91.64	100HHC	2749.21	INTER. TERMOMAGNETICO

Tabla 4.1 Selección de Fusibles

4.6 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.

4.6.1 Tipo de usuario.

Las ordenanzas expedidas por las empresas municipales determinan la distribución general de uso del suelo, así como las características básicas que deben cumplir las edificaciones a ser construidas en las zonas determinadas para uso residencial. Debido a la ubicación geográfica, nivel de voltaje y potencia de generación del proyecto PUCUNO, se determina un sector rural, como se explicó en el numeral 4.3.2.1 (*Categorización del cliente residencial*), página 122, los usuarios que se favorecen de la energía entrega por la Micro Central Hidroeléctrica, se encuentran en la categoría C (60 a 150 Kwh)⁷². Según las necesidades actuales y futuras, para garantizar un servicio confiable y considerando que los criterios de diseño de las empresas reguladoras⁷³, se utiliza los criterios actuales de diseño de las Empresa Eléctrica Quito S.A.

⁷² Guía de diseño Parte III – Redes Aéreas – Empresa Eléctrica Ambato – Regional Centro Norte S.A. Página 5.

⁷³ Empresa Eléctrica Quito S.A - Empresa Eléctrica Ambato – Regional Centro Norte S.A.



4.6.2 Estudio de carga y demanda máxima.

- *Censo de carga.*

El censo de carga es el primer paso para la evaluación de cualquier sistema eléctrico. Este proporciona la información necesaria de carga instalada (*es decir la cuantificación de los equipos existentes*) procedente del circuito.

El censo de carga consiste en hacer un levantamiento de todos los dispositivos eléctricos que se encontraran conectados a la red de suministro de energía, los datos característicos que se recaban en campo son cargas puntuales; como centros de educación, centros médicos, canchas deportivas, iluminación pública, etc, así también usuarios que necesiten por su activa comercial acometidas bifásicas o trifásicas. Para la recopilación de estos datos se realizaron algunas visitas en campo (*Ver fotografías 4.1 y 4.2*), específicamente en la población de Wuamaní, recopilando todos los datos importantes para realizar un censo de carga adecuado y con un margen de error mínimo.



Foto 4.1 Unidad Educativa



Foto 4.2 Casa típica del sector



El estudio de carga es la parte medular de cualquier diseño eléctrico, puesto que con el desarrollo del mismo, se procederá a la determinación de la demanda, la capacidad de los transformadores, equipos de protección y sistemas de medición.

La información recopilada en campo se refleja en las *tablas 4.2 y 4.3*.

Provincia: Napo Parroquia: Cotundo Cantón:						
Nombre de las localidades	Número de lotes			Organización para promover electrificación	Persona que los representa	Gestiones realizadas
	Concentradas	Dispersas	Total			
El Progreso	40		40	Consejo Provincial del Tena	Municipio	Donación de Equipos por Parte del Ministerio de Energía y Minas.
Santa Elena	42		42			
Sin Nombre	37		37			
Total	119		119			

Tabla 4.2 Información de la población de la Parroquia Cotundo.

Descripción	Ubicación	Carga Instalada (KW)	Demanda Estimada (KVA)	Demanda Estimada (KW)	Demanda Futura (KVA)
Unidad Educativa	Rural		15	14.25	
Área Comunal	Rural		10	9.5	
Centro de Salud	Rural (Proyectado)		10	9.5	
Iluminación Publica	Rural (Proyectado)		5	4.75	
Total			40	38	

Tabla 4.3 Información de Cargas Especiales



- **Determinación de la demanda máxima coincidente.**

Una vez realizado el estudio de carga, se determina el cálculo de la Demanda Máxima Coincidente, que para usuarios con consumos menores a 500 Kwh, la Guía de Diseño de la Empresa Eléctrica Quito S.A, en su Sección A-11-03 (*PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DE LA DEMANDA MAXIMA COINCIDENTE*) establece la aplicación de la **ecuación 4.1**:

$$D_{\text{max-coincidente}} = \text{Factor}M * \text{Factor}N \quad (4.1)$$

El primer factor *M*, denominado factor de coincidencia, depende del número de clientes, y el segundo factor, *N*, relaciona la energía consumida por mes y por cliente con la demanda máxima, la tabla donde se reflejan estos valores se presenta a continuación:

APENDICE A-11-B		FACTORES M Y N			
No de Usuarios	Factor M	No de Usuarios	Factor M	No de Usuarios	Factor M
1 a 4	1	50	63.5	96	113
5	9.49	51	64.7	97	114
6	10.8	52	65.7	98	115
7	12.1	53	66.7	99	116
8	13.5	54	68	100	117
9	14.8	55	69	105	122
10	16.1	56	70.2	110	128
11	17.4	57	71.2	115	133
12	18.7	58	72.3	120	138
13	20.1	59	73.6	125	143
14	21.4	60	74.5	130	148
15	22.7	61	75.6	135	153
16	24	62	76.7	140	159
17	25.3	63	77.8	145	163
18	26.6	64	78.9	150	168
19	27.8	65	80	155	173
20	29.2	66	81.1	160	178
21	30.4	67	82.2	165	183
22	31.7	68	83.2	170	188
23	32.8	69	84.3	175	193
24	33.9	70	85.4	180	198
25	34.9	71	86.5	185	203
26	36	72	87.6	190	208
27	37.2	73	88.7	195	213
28	38.9	74	89.7	200	218
29	39.5	75	90.8	205	223
30	40.7	76	91.8	210	228
31	41.7	77	92.9	215	233
32	43.1	78	93.9	220	238
33	44.3	79	95	225	243
34	45.4	80	96	230	247
35	46.6	81	97.2	235	252
36	47.7	82	98.3	240	257
37	48.9	83	99.2	245	262
38	50	84	100	250	267
39	51.25	85	101	255	272
40	52.3	86	120	260	276
41	53.4	87	103	265	282
42	54.5	88	104	270	287
43	55.4	89	105.5	275	291
44	56.7	90	107	280	296
45	57.9	91	108	285	301
46	59	92	109	290	306
47	60.2	93	110	295	310
48	61.4	94	111	300	315
49	62.4	95	112	310	325

Factor N	
Categoría	Factor N
E	0.348
D	0.497
C	0.784
B	1.057
A	1.45
A	1.45



En el caso puntual del poblado de Wuamaní, existen 120 lotes con un 40 % de viviendas habitadas sin conexión eléctrica que corresponden al usuario estrato C, según el apéndice A-11-B, presentado anteriormente, el factor M es 138 y el factor N es 0.784, reemplazando valores en la ecuación 4.1 se obtiene:

$$D_{max-coincidente} = 138 * 0.784$$

$$D_{max-coincidente} = 108.192$$

Una vez conocida la demanda máxima coincidente, se determina la demanda de pérdidas técnicas resistivas multiplicando la demanda máxima coincidente por el porcentaje de pérdidas técnicas del 3,6 %, éste valor es recomendado por la Empresa Eléctrica Quito S.A, en su Sección A-11-04 (*DETERMINACION DE LA DEMANDA DE DISEÑO*) Página 64.

$$D_{perdidas-tecnicas} = 108.192 * 0.036$$

$$D_{perdidas-tecnicas} = 3.894Kw$$

Con el número de lámparas alojadas en cada circuito se obtiene la demanda de alumbrado público, que para el caso de la urbanización Wuamaní, se ha proyectado una carga de alumbrado público de 5 KVA, divididas equitativamente en las tres urbanizaciones, adicional a las cargas de iluminación pública se ha establecido tres cargas especiales que corresponden a un centro educativo, una unidad médica y área comunal (*Canchas deportivas*), cuyos valores se los puede observar en la tabla 4,3 (*Cargas Especiales*)

Conocida la demanda máxima coincidente, cargas especiales, alumbrado público y pérdidas técnicas resistivas se procede a calcular la Demanda de Diseño.



- *Determinación de la Demanda de Diseño.*

Para el dimensionamiento de los elementos de la red y para el computo de la caída de tensión, debe considerarse que a partir de cada uno de los circuitos de alimentación, incide un número variable de consumidores, el mismo que depende de la ubicación del punto considerado en la relación a la fuente y a las cargas distribuidas; puesto que, las demandas máximas unitarias no son coincidentes en el tiempo, la potencia transferida hacia la carga es, en general, menor que la sumatoria de las demandas máximas individuales⁷⁴.

En consecuencia, la demanda a considerar para el dimensionamiento de la red en un punto dado debe ser calculada mediante la siguiente **ecuación 4.2**:

$$DD = \frac{D_{\max - \text{coinc}} + D_{A/P} + D_{\text{PERD-TECNI}}}{Fp} \quad (4.2)$$

Donde:

DD	→	<i>Demanda de diseño</i>
$D_{\max - \text{coinc}}$	→	<i>Demanda máxima coincidente (KW)</i>
$D_{A/P}$	→	<i>Demanda de alumbrado público (KW)</i>
$D_{\text{perd-tecn}}$	→	<i>Demandas de Pérdidas Técnicas resistivas</i>
Fp	→	<i>Factor de potencia (0,95)⁷⁵</i>

Reemplazando valores se obtiene:

$$DD = \frac{108.192 + 4.75 + 3.894}{0.95}$$

$$DD = 122.48$$

⁷⁴ Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño – Página 63.

⁷⁵ El factor de potencia de 0,95 es el estipulado por la Empresa Eléctrica Quito S.A



4.6.3 Diseño de la red de distribución.

La red de distribución de energía o sistema de distribución eléctrica es uno de los componentes del Sistema Eléctrico de Potencia (*S.E.P*) que tiene como función la de proporcionar el suministro de electricidad desde la subestación de distribución hasta los consumidores finales. En ésta sección se hará énfasis en la distribución de acometidas, alumbrado público, ubicación, protección y capacidad de transformadores para cubrir toda el área en estudio y obtener el diseño de la red de distribución para abastecer a 120 usuarios en el poblado de Wuamaní.

Para iniciar el diseño de la red de distribución hay que tomar en cuenta ciertos parámetros importantes que se indican a continuación:

- *Planos civiles de las urbanizaciones.*
- *Configuración de la red.*
- *Nivel de voltaje.*
- *Caídas de tensión en los ramales.*
- *Tipos de transformadores a utilizar.*
- *Tipo de alumbrado público.*

El plano de las urbanizaciones, así como la ubicación de las vías principales de acceso hacen parte del **Anexo 2** (*Planos Eléctricos*) que se encuentra en la pagina 190 y forman parte de éste estudio de investigación.

De lo expuesto en la Normas de la Empresa Eléctrica Quito S.A, Empresa Eléctrica Ambato – Regional Centro Norte S.A. y haciendo un análisis de la forma en que se realizará el diseño de las redes de distribución del poblado de Wuamaní, se toman las siguientes decisiones:



- *La instalación será en su totalidad radial aérea, debido al tipo de configuración y ubicación del proyecto.*
- *Se instalarán transformadores monofásicos a 13.8 KV en el primario y bifásico a 220V/120V en el lado secundario para la red de distribución.*
- *La protección y seccionamiento será de acuerdo a los valores de diseño.*
- *El calibre del alimentador será el definido en las Normas de las Empresas distribuidoras, determinadas en el diseño.*

La distribución de energía eléctrica en la población de Wuamaní se ha dividido en siete circuitos utilizando transformadores monofásicos tipo distribución de una potencia máxima de 25 KVA, alimentado así a todos los lotes ubicados en la población (*considerando que no es necesario que existan viviendas*) y realizando una distribución equitativa del alumbrado público.

4.6.3.1 Cómputo de la caída de voltaje.

Dado que de los circuitos secundarios se derivan las acometidas a los usuarios a intervalos y con magnitudes de potencia variables, el proceso de cómputo a seguir para establecer la caída máxima de tensión consiste en la determinación del valor de la misma para cada uno de los tramos de circuito y por adición, el valor total debe ser inferior al límite establecido, para el cálculo se tomará como referencia el procedimiento descrito en la norma de la Empresa Eléctrica Quito S.A, en su Sección A-12,07 - Página 87 “*COMPUTO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN EN CIRCUITOS SECUNDARIOS*” y dentro de los límites fijados en la Sección A-11-07 “*CAIDAS DE TENSION ADMISIBLE*”

En el Apéndice A-12-B, se presenta el formato tipo para el cómputo, cuya aplicación se describe a continuación:



1. Anotar los datos generales del proyecto e identificar el centro de transformación y el número del circuito considerado, en los espacios correspondientes dispuestos en la parte superior del formato.
2. Representar esquemáticamente el circuito, de acuerdo a la configuración del proyecto, con la localización de los postes o puntos de derivación a los abonados y la separación entre los mismos, expresada en metros y además, con la indicación de los siguientes datos sobre el esquema:
 - Numeración de los postes o puntos de derivación, consecutiva a partir del transformador.
 - El número de abonados alimentados desde cada uno de los postes o puntos de derivación.
 - El número de abonados total que incide sobre cada uno de los tramos, considerado como la suma de los mismos vistos desde la fuente hacia el extremo del circuito en la sección correspondiente.
3. Anotar en la columna 1 la designación del tramo del circuito comprendido entre dos postes o puntos de derivación, por la numeración que corresponde a sus extremos y partiendo desde el transformador; además, anotar la longitud del tramo en la columna 2.
4. Anotar en la columna 3 el número total de abonados correspondiente al tramo considerado.
5. Con el número de abonados por tramo (N) y el valor de la demanda máxima unitaria ($DMUp$), se establece la demanda correspondiente al tramo considerado, se aplica la siguiente expresión, siendo, FD el factor de diversidad obtenido de las tablas del Apéndice A-11-D, y cuyo valor se anota en la columna 4.



$$KVA \cdot l = \frac{N * DMUp}{FD}$$

6. Anotar los datos característicos del conductor seleccionado para cada uno de los tramos: en la columna 5, la sección transversal o calibre del conductor de fase; en la columna 6, que debe ser utilizada solamente para redes subterráneas, la potencia máxima admisible por límite térmico obtenida de la tabla del Apéndice A-12-C; en la columna 7 el momento kVA x m para cada caída de tensión del 1% obtenida de la tabla del mismo apéndice.
7. Con los datos registrados en las columnas 1 a 7, efectuar los cálculos y anotarlos en la siguiente forma:
 - En la columna 8 el producto de la demanda en kVA (columna 4) por la longitud del tramo (columna 2).
 - En la columna 9 el cociente del momento computado para el tramo (columna 8) por el momento característico del conductor (columna 7), que corresponde a la caída de tensión parcial en el tramo expresado en porcentaje del valor nominal.
 - En la columna 10, el valor de la caída de tensión total, considerada como la sumatoria de las caídas parciales, desde el transformador hacia el extremo del circuito, siguiendo el camino más desfavorable.



ALIMENTADORES SECUNDARIOS									
COMPUTO DE LA CAIDA DE TENSION EN CIRCUITOS SECUNDARIOS									
PROYECTO: WAMANÍ			CENTRO DE TRANSFORMACION: CT-1						
No. PROY.: 1			TIPO USUARIO: C						
TIPO INSTALACION: AEREA			DMUp(KVA): 2.5						
TENSION: 240/120 V. No. FASES: 3			CIRCUITO No: 1						
LIMITE CAIDA TENSION: 3.50%			MATERIAL CONDUCTOR: ASCR						
ESQUEMA:									
ESQUEMA		DEMANDA		CONDUCTOR			COMPUTO		
TRAMO		No	KVA _d	CALIBRE	KVA (LT)	KVA _M	KVA _M	DV (%)	
DESIG	LONG	USUARIO						PARCIAL	TOTAL
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0 - 1	43.07	9	11.19	2/0		773	482.13	0.62	0.62
1 - 2	56.74	3	5.00	2/0		773	283.70	0.37	0.99
0 - 3	46.20	10	12.20	2/0		773	563.41	0.73	1.72
3 - 4	45.17	3	5.00	2/0		773	225.85	0.29	2.01
0 - 5	35.23	7	9.26	2/0		773	326.20	0.42	2.43
5 - 6	45.21	4	6.13	2/0		773	277.36	0.36	2.79
6 - 7	31.34	2	3.82	2/0		773	119.62	0.15	2.95
REALIZO:				REVISO:			APROBO:		



ALIMENTADORES SECUNDARIOS									
COMPUTO DE LA CAIDA DE TENSION EN CIRCUITOS SECUNDARIOS									
PROYECTO: WAMANÍ			CENTRO DE TRANSFORMACION: CT-2						
No. PROY.: 1			TIPO USUARIO: C						
TIPO INSTALACION: AEREA			DMUp(KVA): 2.5						
TENSION: 240/120 V. No. FASES: 3			CIRCUITO No: 2						
LIMITE CAIDA TENSION: 3.50%			MATERIAL CONDUCTOR: ASCR						
ESQUEMA:									
ESQUEMA		No USUARIO	DEMANDA KVA_d	CONDUCTOR			COMPUTO		
TRAMO DESIG	LONG			CALIBRE	KVA (LT)	KVA_M	KVA_M	DV (%)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0 - 1	26.57	2	3.82	1/0		641	101.41	0.16	0.16
1 - 2	25.73	1	2.50	1/0		641	64.33	0.10	0.26
2 - 3	39.91	1	2.50	1/0		641	99.78	0.16	0.41
1 - 4	32.29	0	0.00	1/0		641	0.00	0.00	0.41
1 - 5	36.88	0	0.00	1/0		641	0.00	0.00	0.41
0 - 6	29.63	0	0.00	1/0		641	0.00	0.00	0.41
6 - 7	26.04	2	3.82	1/0		641	99.39	0.16	0.57
7 - 8	60.16	1	2.50	1/0		641	150.40	0.23	0.80
6 - 9	33.00	2	3.82	1/0		641	125.95	0.20	1.00
6 - 10	45.23	2	3.82	1/0		641	172.63	0.27	1.27
10 - 11	90.12	2	3.82	1/0		641	343.97	0.54	1.81
REALIZO:				REVISO:			APROBO:		



ALIMENTADORES SECUNDARIOS										
COMPUTO DE LA CAIDA DE TENSION EN CIRCUITOS SECUNDARIOS										
PROYECTO:		WAMANÍ			CENTRO DE TRANSFORMACION:		CT-3			
No. PROY.:		1			TIPO USUARIO:		C			
TIPO INSTALACION:		AEREA			DMUp(KVA):		2.5			
TENSION:		240/120 V.		No. FASES:		3		CIRCUITO No:		3
LIMITE CAIDA TENSION:		3.50%			MATERIAL CONDUCTOR:		ASCR			
ESQUEMA:										
ESQUEMA			DEMANDA	CONDUCTOR			COMPUTO			
TRAMO		No	KVA_d	CALIBRE	KVA (LT)	KVA_M	KVA_M	DV (%)		
DESIG	LONG	USUARIO						PARCIAL	TOTAL	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0 - 1	52.97	12	14.22	3/0		923	753.13	0.82	0.82	
1 - 2	24.89	6	8.20	3/0		923	204.02	0.22	1.04	
2 - 3	20.46	6	8.20	3/0		923	167.70	0.18	1.22	
3 - 4	53.67	2	3.82	3/0		923	204.85	0.22	1.44	
0 - 5	32.95	11	13.16	3/0		923	433.55	0.47	1.91	
5 - 6	36.92	9	11.19	3/0		923	413.28	0.45	2.36	
6 - 7	38.92	3	5.00	3/0		923	194.60	0.21	2.57	
7 - 8	55.58	2	3.82	3/0		923	212.14	0.23	2.80	
6 - 9	49.27	5	7.27	3/0		923	358.07	0.39	3.19	
9 - 10	42.47	2	3.82	3/0		923	162.10	0.18	3.36	
REALIZO:				REVISO:			APROBO:			



ALIMENTADORES SECUNDARIOS										
COMPUTO DE LA CAIDA DE TENSION EN CIRCUITOS SECUNDARIOS										
PROYECTO:		WAMANÍ			CENTRO DE TRANSFORMACION:		CT-4			
No. PROY.:		1			TIPO USUARIO:		C			
TIPO INSTALACION:		AEREA			DMUp(KVA):		2.5			
TENSION:		240/120 V.		No. FASES:		3		CIRCUITO No:		4
LIMITE CAIDA TENSION:		3.50%			MATERIAL CONDUCTOR:		ASCR			
ESQUEMA:										
ESQUEMA			DEMANDA	CONDUCTOR			COMPUTO			
TRAMO		No	KVA_d	CALIBRE	KVA (LT)	KVA_M	KVA_M	DV (%)		
DESIG	LONG	USUARIO						PARCIAL	TOTAL	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0 - 1	32.47	0	0.00	1/0		641	0.00	0.00	0.00	
1 - 2	27.16	2	3.82	1/0		641	103.66	0.16	0.16	
1 - 3	28.79	2	3.82	1/0		641	109.89	0.17	0.33	
1 - 4	37.56	4	6.13	1/0		641	230.43	0.36	0.69	
4 - 5	23.09	1	2.50	1/0		641	57.73	0.09	0.78	
5 - 6	26.25	1	2.50	1/0		641	65.63	0.10	0.89	
0 - 7	47.11	1	2.50	1/0		641	117.78	0.18	1.07	
7 - 8	35.81	0	0.00	1/0		641	0.00	0.00	1.07	
8 - 9	37.65	0	0.00	1/0		641	0.00	0.00	1.07	
8 - 10	43.68	4	6.13	1/0		641	267.98	0.42	1.49	
8 - 11	48.75	2	3.82	1/0		641	186.07	0.29	1.78	
REALIZO:				REVISO:			APROBO:			



ALIMENTADORES SECUNDARIOS									
COMPUTO DE LA CAIDA DE TENSION EN CIRCUITOS SECUNDARIOS									
PROYECTO: WAMANÍ			CENTRO DE TRANSFORMACION: CT-5						
No. PROY.: 1			TIPO USUARIO: C						
TIPO INSTALACION: AEREA			DMUp(KVA): 2.5						
TENSION: 240/120 V. No. FASES: 3			CIRCUITO No: 5						
LIMITE CAIDA TENSION: 3.50%			MATERIAL CONDUCTOR: ASCR						
ESQUEMA:									
ESQUEMA		DEMANDA	CONDUCTOR				COMPUTO		
TRAMO		No	KVA_d	CALIBRE	KVA (LT)	KVA_M	KVA_M	DV (%)	
DESIG	LONG	USUARIO						PARCIAL	TOTAL
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0 - 1	45.38	3	5.00	1/0		641	226.90	0.35	0.35
1 - 2	61.91	2	3.82	1/0		641	236.30	0.37	0.72
0 - 3	25.83	2	3.82	1/0		641	98.59	0.15	0.88
3 - 4	72.13	2	3.82	1/0		641	275.31	0.43	1.31
0 - 5	38.91	4	6.13	1/0		641	238.71	0.37	1.68
5 - 6	40.43	0	0.00	1/0		641	0.00	0.00	1.68
6 - 7	33.44	1	2.50	1/0		641	83.60	0.13	1.81
6 - 8	66.85	2	3.82	1/0		641	255.15	0.40	2.21
8 - 9	45.68	2	3.82	1/0		641	174.35	0.27	2.48
REALIZO:			REVISO:			APROBO:			



ALIMENTADORES SECUNDARIOS									
COMPUTO DE LA CAIDA DE TENSION EN CIRCUITOS SECUNDARIOS									
PROYECTO: WAMANÍ			CENTRO DE TRANSFORMACION: CT-6						
No. PROY.: 1			TIPO USUARIO: C						
TIPO INSTALACION: AEREA			DMUp(KVA): 2.5						
TENSION: 240/120 V. No. FASES: 3			CIRCUITO No: 6						
LIMITE CAIDA TENSION: 3.50%			MATERIAL CONDUCTOR: ASCR						
ESQUEMA:									
ESQUEMA		DEMANDA	CONDUCTOR				COMPUTO		
TRAMO		No	KVA_d	CALIBRE	KVA (LT)	KVA_M	KVA_M	DV (%)	
DESIG	LONG	USUARIO						PARCIAL	TOTAL
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0 - 1	43.21	4	6.13	1/0		641	265.09	0.41	0.41
1 - 2	118.80	5	7.27	1/0		641	863.37	1.35	1.76
0 - 3	38.69	0	0.00	1/0		641	0.00	0.00	1.76
3 - 4	29.27	0	0.00	1/0		641	0.00	0.00	1.76
3 - 5	65.87	0	0.00	1/0		641	0.00	0.00	1.76
3 - 6	43.71	1	2.50	1/0		641	109.28	0.17	1.93
REALIZO:			REVISO:				APROBO:		



ALIMENTADORES SECUNDARIOS									
COMPUTO DE LA CAIDA DE TENSION EN CIRCUITOS SECUNDARIOS									
PROYECTO: WAMANÍ			CENTRO DE TRANSFORMACION: CT-7						
No. PROY.: 1			TIPO USUARIO: C						
TIPO INSTALACION: AEREA			DMUp(KVA): 2.5						
TENSION: 240/120 V. No. FASES: 3			CIRCUITO No: 7						
LIMITE CAIDA TENSION: 3.50%			MATERIAL CONDUCTOR: ASCR						
ESQUEMA:									
ESQUEMA		DEMANDA	CONDUCTOR			COMPUTO			
TRAMO		No	KVA_d	CALIBRE	KVA (LT)	KVA_M	KVA_M	DV (%)	
DESIG	LONG	USUARIO						PARCIAL	TOTAL
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0 - 1	48.31	0	0.00	1/0		641	0.00	0.00	0.00
1 - 2	20.53	0	0.00	1/0		641	0.00	0.00	0.00
1 - 3	45.63	3	5.00	1/0		641	228.15	0.36	0.36
0 - 5	40.31	0	0.00	1/0		641	0.00	0.00	0.36
5 - 6	33.50	1	2.50	1/0		641	83.75	0.13	0.49
5 - 7	36.48	0	0.00	1/0		641	0.00	0.00	0.49
8 - 9	45.03	4	6.13	1/0		641	276.26	0.43	0.79
8 - 9	58.72	2	2.91	1/0		641	170.70	0.27	1.05
REALIZO:			REVISO:			APROBO:			

Para redes radiales se debe considerar la longitud total del circuito hasta el centro de transformación, en las normas de la Empresa Eléctrica Quito S.A. Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño, Sección A-11-07, página 66, establece que las caídas de tensión permitidas para usuarios tipo C no podrá ser mayor a 3,5 % del voltaje nominal.



4.6.3.2 Estructuras de soporte.

En esta sección se hace referencia al tipo de estructura que se utilizará para realizar la distribución de la energía a lo largo de las urbanizaciones que corresponden a la población de Wuamani.

Las urbanizaciones en su totalidad utilizarán estructuras ubicadas en postes de hormigón de 9 m, del tipo RBA1 (*Disposición vertical, simple bastidor en porte*) la cual se refleja en la **figura 4.5** de acuerdo a la disposición de la Sección B10-51 y B10-52⁷⁶, en el punto donde se ubicarán los transformadores de distribución se colocarán estructuras del tipo MVT3 (*Montaje para transformador convencional de capacidad de 10 – 50 KVA 22 860 GRD/ 13 200 – 240 121 V*) como se muestra en la **figura 4.6** de acuerdo a la Sección B30-03⁷⁷. La lista de materiales básico se presenta en el **Anexo 1** (*Estructuras de soporte*) que hace parte de éste estudio, que se encuentra en la página 189 de este documento.

⁷⁶ Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte B – Guía para Diseño.

⁷⁷ Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte B – Guía para Diseño.

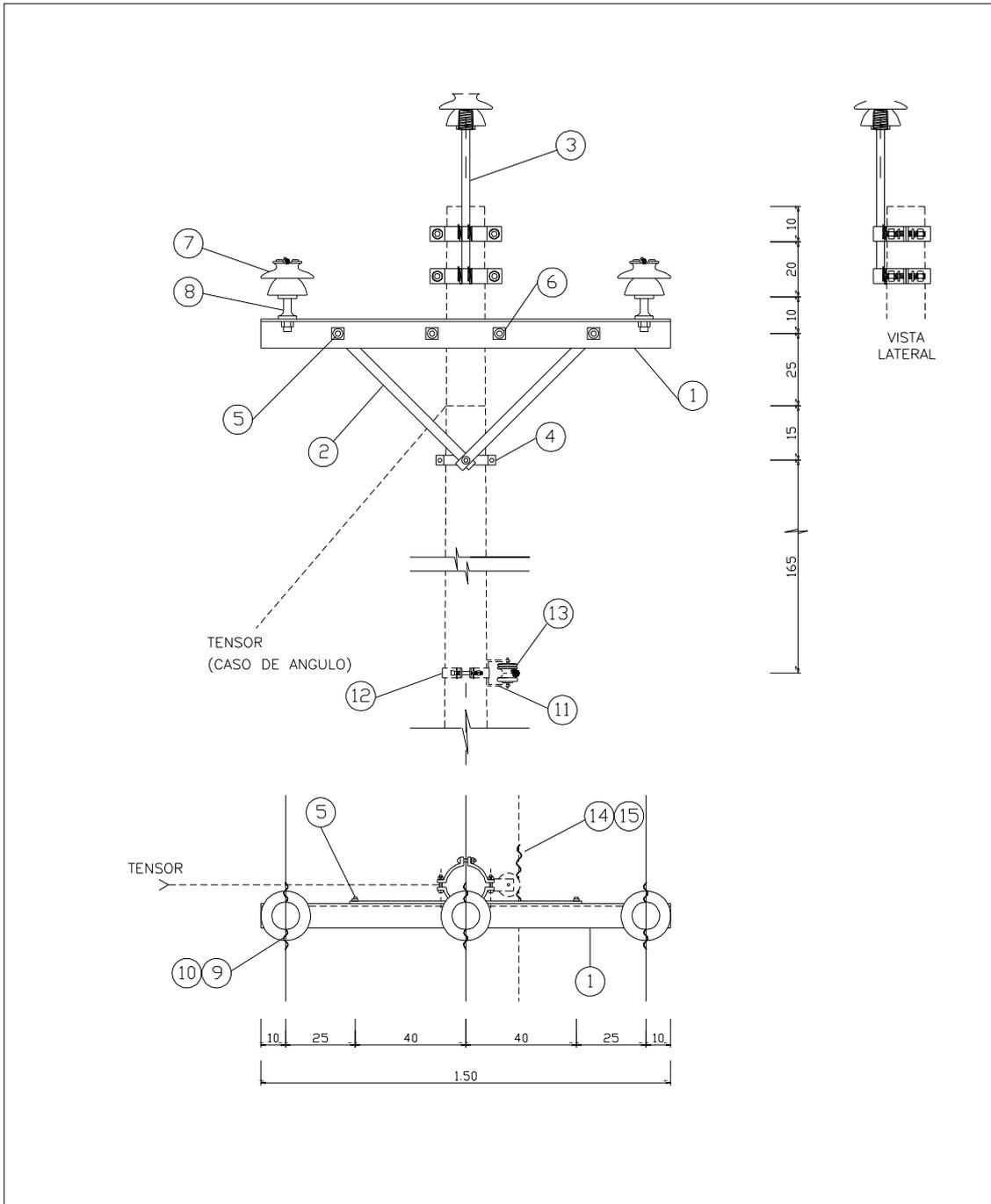


Figura 4.5 Estructura Tipo BRAI



4.6.4 Diseño de los Transformadores de Distribución.

Para el caso puntual de la comunidad de Wuamani, se utilizarán transformadores convencionales del tipo aéreo, para instalación en primarios de 13,8/7,9 KV del sistema trifásico con neutro corrido, para funcionar a la intemperie, el núcleo estará sumergido en aceite, el conjunto enfriado por aire natural, a una frecuencia de 60 Hz y circuito secundario de 220/121 V, en potencias máximas de 25 KVA.

Para la distribución en las urbanizaciones se han dispuesto de siete circuitos con transformadores de una capacidad normalizada para satisfacer la demanda de 120 usuarios, más una unidad educativa.

4.6.4.1 Procedimiento de Cálculos.

Los cálculos de las potencias de los centros de transformación están realizados según el método que sugerían las normas de la Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución - Parte A - Guía para Diseño - Sección A-12 (*DIMENSIONAMIENTO Y TRAZO*), cuyo desarrollo se encuentra detallado en el *Anexo 3 (NORMAS PARA EL DISEÑO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION)*, ubicado en la página 191.

En lugar de *DMUp* se ha utilizado el valor de demanda que corresponde al usuario tipo C, que, según las normas actualizadas de la Empresa Eléctrica Quito S.A, en su Sección A-11.05 (*Valores de Referencia para la determinación de la demanda*) y es de 2,5⁷⁸. Cuyo valor se refleja en la tabla que se describe a continuación:

VALORES DE REFERENCIA DE DEMANDA	
USUARIO	DMUp
TIPO	KW
E	1.1
D	1.6
C	2.5
B	3.4
A	4.7

⁷⁸ Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño. Página 65.



Para determinar la capacidad de los transformadores de distribución se utiliza la siguiente ecuación⁷⁹:

$$kVA_{CT} = N * DMUp * \frac{1}{FD} * \frac{\%}{100}$$

Donde:

N → Número de usuarios

$DMUp$ → Demanda máxima unitaria proyectada

$\%$ → Porcentaje que corresponde a cada tipo de usuario, para el tipo C es de 80%⁸⁰

FD → Factor de diversidad⁸¹

Determinación de la capacidad del CT-1

# de usuarios	25
Factor de Diversidad	2.33
DMUp	2.5 (kVA)
Porcentaje de carga estimado	80 %
DME	0 luminarias
$kVA_{CT} = N * DMUp * \frac{1}{FD} * \frac{\%}{100}$ $kVA_{CT} = 25 * 2.5 * 0.429 * 0.80$ $kVA_{CT} = 21.45 \text{ [kVA]}$	
Capacidad Normalizada	25 [kVA] (1φ)

⁷⁹ Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño. Sección A-12.06

⁸⁰ Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño. Página 86.

⁸¹ Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño. Apéndice A-11-D.



Determinación de la capacidad del CT-2

# de usuarios	13
Factor de Diversidad	2.14
DMUp	2.5 (kVA)
Porcentaje de carga estimado	80 %
DME	0 luminarias
$kVA \cong N * DMUp * \frac{1}{FD} * \frac{\%}{100}$ $kVA \cong 13 * 2.5 * 0.467 * 0.8$ $kVA \cong 12.142 \text{ [kVA]}$	
Capacidad Normalizada	15 [kVA] (1φ)

Determinación de la capacidad del CT-3

# de usuarios	23
Factor de Diversidad	2.3
DMUp	2.5 (kVA)
Porcentaje de carga estimado	80 %
DME	0 luminarias
$kVA \cong N * DMUp * \frac{1}{FD} * \frac{\%}{100}$ $kVA \cong 23 * 2.5 * 0.435 * 0.8$ $kVA \cong 20.01 \text{ [kVA]}$	
Capacidad Normalizada	25[kVA] (1φ)

Determinación de la capacidad del CT-4

# de usuarios	18
Factor de Diversidad	2.23
DMUp	2.5 (kVA)
Porcentaje de carga estimado	80 %
DME	0 luminarias
$kVA \cong N * DMUp * \frac{1}{FD} * \frac{\%}{100}$ $kVA \cong 18 * 2.5 * 0.448 * 0.8$ $kVA \cong 16.128 \text{ [kVA]}$	
Capacidad Normalizada	15[kVA] (1φ)



Determinación de la capacidad del CT-5

# de usuarios	18
Factor de Diversidad	2.23
DMUp	2.5 (kVA)
Porcentaje de carga estimado	80 %
DME	0 luminarias
$kVA_{(1\phi)} = N * DMUp * \frac{1}{FD} * \frac{\%}{100}$ $kVA_{(1\phi)} = 18 * 2.5 * 0.448 * 0.8$ $kVA_{(1\phi)} = 16.128 \text{ [kVA]}$	
Capacidad Normalizada	15 [kVA] (1φ)

Determinación de la capacidad del CT-6

# de usuarios	7
Factor de Diversidad	1.89
DMUp	2.5 (kVA)
Porcentaje de carga estimado	80 %
DME	0 luminarias
$kVA_{(1\phi)} = N * DMUp * \frac{1}{FD} * \frac{\%}{100}$ $kVA_{(1\phi)} = 7 * 2.5 * 0.529 * 0.8$ $kVA_{(1\phi)} = 7.406 \text{ [kVA]}$	
Capacidad Normalizada	10 [kVA] (1φ)

Determinación de la capacidad del CT-7

# de usuarios	8
Factor de Diversidad	1.96
DMUp	2.5 (kVA)
Porcentaje de carga estimado	80 %
DME	0 luminarias
$kVA_{(1\phi)} = N * DMUp * \frac{1}{FD} * \frac{\%}{100}$ $kVA_{(1\phi)} = 8 * 2.5 * 0.51 * 0.8$ $kVA_{(1\phi)} = 8.51 \text{ [kVA]}$	
Capacidad Normalizada	10 [kVA] (1φ)



4.6.4.2 Conexión a tierra.

Se ocupara varilla cooperweld de 16 mm de diámetro por 1.8 m y cable desnudo número 2 AWG. Se pondrán puestas a tierra en los postes finales de circuito y en cada poste donde se instalarán los transformadores.

4.6.5 Diseño de alumbrado público⁸².

En instalaciones aéreas, la caída máxima de tensión en el hilo piloto, considerado hasta la luminaria más alejada de la fuente de alimentación, con el 125% de la corriente nominal de las lámparas, no deberá superar el 3% de la tensión nominal de línea. En todo caso, la sección del conductor de aleación de aluminio para el hilo piloto, no será inferior a 21,16 mm².

4.6.5.1 Tipo de luminaria.

Las luminarias para las calles y las aceras comunales, serán de Sodio de Alta Presión y de una potencia de 70 W.

4.6.5.2 Tipo de control.

Debido a que el número de luminarias por circuito es pequeño resulta más económico realizar el control utilizando Fotocélula.

⁸² Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño. Sección A-12.09. Página 90.



4.6.6 Diseño de protecciones.

En redes de baja tensión se utilizarán exclusivamente como dispositivos de protección fusibles unipolares tipo distribución, montados sobre bases aislantes de soporte. El elemento fusible asociado a un cuerpo de cerámica y a una cuchilla de contacto puede ser separado de su base, permitiendo el seccionamiento de la línea.

La intensidad nominal de un transformador de distribución en baja tensión viene dada por la siguiente expresión:

$$P_{KVA} = I_{SECUNDARIO} * V_{SECUNDARIO}$$

Despejando la corriente tenemos:

$$I_{NOMINAL} = \frac{P_{TRANSFORMADOR}}{V_{SECUNDARIO}}$$

Donde:

$I_{secundario}$ → Intensidad en el lado de baja tensión (A)

P_{KVA} → Potencia aparente del transformador (KVA)

$V_{secundario}$ → Voltaje a la salida del transformador (V)

El valor de la intensidad en baja tensión para los transformadores son las siguientes:

- Para el transformador de 25 KVA:

Datos:

$$S_{NOMINAL} = 25 \text{ KVA}$$

$$V_{NOMINAL} = 240 \text{ V}$$

$$I_{NOMINAL} = \frac{25 \text{ KVA}}{240 \text{ V}}$$

$$I_{NOMINAL} = 104.17 \text{ A}$$



Por lo que la protección en el lado de baja serán fusibles del tipo NH con cartuchos de 100 A por fase. El valor del fusible corresponde a la tabla de fusibles para transformadores de distribución que se describe en la Guía de Diseño parte A de la EEQSA⁸³.

- Para el transformador de 10 KVA:

Datos:

$$S_{NOMINAL} = 10 \text{ KVA}$$
$$V_{NOMINAL} = 240 \text{ V}$$

$$I_{NOMINAL} = \frac{10 \text{ KVA}}{240 \text{ V}}$$

$$I_{NOMINAL} = 41.6 \text{ A}$$

Por lo que la protección en el lado de baja serán fusibles del tipo NH con cartuchos de 35 A por fase. El valor del fusible corresponde a la tabla de fusibles para transformadores de distribución que se describe en la Guía de Diseño parte A de la EEQSA⁸⁴.

- Para el transformador de 15 KVA:

Datos:

$$S_{NOMINAL} = 15 \text{ KVA}$$
$$V_{NOMINAL} = 240 \text{ V}$$

$$I_{NOMINAL} = \frac{15 \text{ KVA}}{240 \text{ V}}$$

$$I_{NOMINAL} = 62.5 \text{ A}$$

⁸³ Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño. Apéndice A-13-A Página 106.

⁸⁴ Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño. Apéndice A-13-A Página 106.



Por lo que la protección en el lado de baja serán fusibles del tipo NH con cartuchos de 35 A por fase. El valor del fusible corresponde a la tabla de fusibles para transformadores de distribución que se describe en la Guía de Diseño parte A de la EEQSA⁸⁵.

– Dispositivos de Protección de Sobretensión.-

Para la protección de equipos instalados a la intemperie, en redes aéreas y cables aislados derivados de líneas aéreas, se utilizarán pararrayos tipo óxido de zinc, cuerpo polimérico, clase distribución, con disparador previstos para su operación a una altura de 3000 metros sobre el nivel del mar, tensión nominal de 18 KV, máxima tensión de descarga para una onda de corriente de 8x20 microsegundos, deberá incluir los dispositivos de soporte para montaje en cruceta.

– Dispositivos de seccionamiento.-

Para el seccionamiento de los transformadores se instalará un seccionador fusible unipolar tipo abierto, el cual es un dispositivo de seccionamiento manual sin corriente de carga, admite el corte de corriente de valor limitado como aquellas de magnetización de transformadores de distribución; además, el elemento fusible incorporado permite obtener una protección de sobre corriente. Para el caso de la red de la MCH PUCUNO se utilizarán seccionadores fusibles unipolares, tipo abierto, adecuados para una tensión de servicio 13,8 KV. Tensión máxima de diseño de 15/27 KV. Capacidad nominal: 100 A. BIL: 125 V. Completo, con tubo porta fusible y accesorios de soporte para montaje en cruceta de hierro. Estos seccionadores se instalarán al inicio y final de la red.

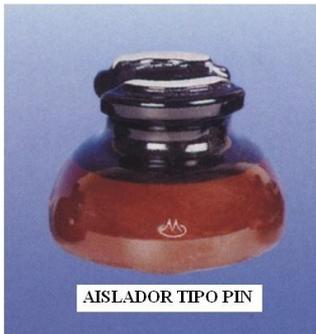
– Aisladores.

Los aisladores son dispositivos encargados del aislamiento eléctrico y de la fijación mecánica del equipo o conductores que están sujetos a diferentes niveles de voltaje. Los

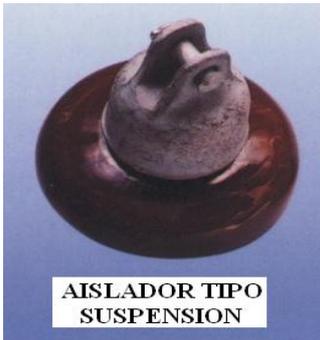
⁸⁵ Empresa Eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño. Apéndice A-13-A Página 106.

aisladores pueden ser de acuerdo al material de fabricación, de porcelana o vidrio templado.

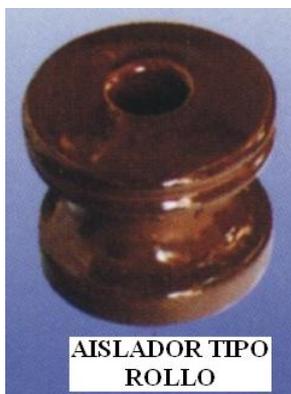
Existen un sinnúmero o tipos de aisladores entre los más comunes podemos anotar los siguientes:



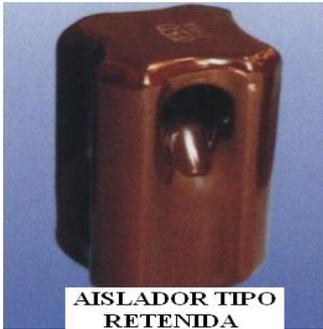
Tipo espiga o pin. Formado por uno o varios faldones que se montan rígidamente en un vástago roscado llamado alfiler, con el cual forma un conjunto desmontable, se usa para aislar conductores eléctricos en líneas aéreas de redes de distribución.



Tipo suspensión. Su función es la de soportar mecánicamente y aislar eléctricamente los conductores de las líneas de transmisión y distribución, estos también se los conoce como cadenas porque se unen de acuerdo al nivel de voltaje formando una cadena.



Tipo rollo. Es un aislador de forma cilíndrica con una o varias ranuras circunferenciales externas y perforadas axialmente para su montaje, soportan y aíslan las líneas de baja tensión, montados sobre bastidores, estos aisladores se los utiliza para las líneas de baja tensión, sobre estos van amarados los conductores en disposición neutro, fase, fase, fase y piloto.



Tipo retenida. Es un aislador de porcelana de forma cilíndrica con dos perforaciones y ranuras transversales, se utilizan como soporte aislante en los cables tensores entre el poste y el suelo, a demás se usan para tensar líneas aéreas y estructuras de distribución.

Para la red de distribución de la comunidad de Wuamaní, se utilizarán los cuatro tipos de aisladores descritos anteriormente, estos equipos se ajustarán a las Normas de la Empresa Eléctrica Quito S.A. Sistemas de Distribución – Parte A – Guía para Diseño. Sección A-20.10 Partida D - Aisladores. Página 77.

4.7 HERRAJES GALVANIZADOS⁸⁶.

Todos los materiales deberán ser galvanizado en caliente, resistente a la corrosión, con un espesor mínimo de galvanizado de 2 onzas/pie² (610 gr/m²). Todos los herrajes deben tener un acabado liso, libre de rebabas, estrías, marca de troquel, etc.

– Pernos, Tuercas y Arandelas⁸⁷.

- a) *Pernos maquina:* serán suministrados con una arandela, una tuerca y una contratuerca.
- b) *Pernos espárrago:* serán suministrados con cuatro arandelas, cuatro tuercas y dos contratuercas.
- c) *Pernos ojo:* serán suministrados con dos arandelas, una tuerca y una contratuerca.
- d) *Perno ojo espárrago:* serán suministrados con cuatro arandelas, tres tuercas y una contratuerca.

⁸⁶ Empresa Eléctrica Ambato – Regional Centro Norte S.A. Página 35.

⁸⁷ Idem Referencia 88.



– **Pernos Pin⁸⁸.**

Serán construidos periféricamente con acero laminado en caliente, o con acero de la resistencia necesaria para las cargas de trabajo que se solicitaran específicamente. Las espigas, los herrajes y accesorios deberán ser galvanizados por inmersión en caliente después de su fabricación y antes de fundir el roscado de plomo.

– **Grapas, adaptadores y varillas de puesta a tierra⁸⁹.**

Las grapas tener una conductividad no menos que la del conductor a los que se aplicarán. El cuerpo de las grapas, para conductores ACSR, deberán forjarse con aleación de aluminio libre de cobre y los elementos de ajuste serán de acero galvanizado. El cuerpo de las grapas para cables de acero galvanizado, será de hierro dúctil. Cada varilla a tierra tendrá una capa exterior pesada de cobre puro inseparable soldada en derretido al núcleo de acero, de tal forma que la entrelazada unión de cristales, garantice la fusión entre los dos metales.

– **Conectores⁹⁰.**

Todas las partes de los conectores, estarán libres de superficies ásperas y bordes filosos de inducción a la corona.

⁸⁸ Idem Referencia 88.

⁸⁹ Empresa Eléctrica Ambato – Regional Centro Norte S.A. Página 36

⁹⁰ Idem. Referencia 91.



CAPITULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS ECONOMICO PREVIO A SU APROBACION.

5.1.1 Evaluación Socio Económica.

En general, los proyectos aislados de generación hidroeléctrica tienen un gran componente social, el cual da al proyecto un enfoque para el análisis de su evaluación en ese sentido. Debe entonces considerarse los efectos indirectos y de valoración social, de beneficios y costos que conlleva su instalación y manejo, con el objeto de evaluar económicamente el proyecto y establecer la viabilidad para su realización.

La evaluación financiera toma los precios del mercado para valorar los bienes y recursos, siendo importantes las utilidades dejadas por la relación entre ingresos y egresos.

En su mayoría los proyectos de generación hidroeléctrica en pequeña escala, no son un atractivo económico, lo cual lleva a plantear un mecanismo para hacer viable el proyecto, por medio de financiamientos directos o subsidios, en el caso en particular de la micro central PUCUNO, el desembolso del dinero se realizará mediante planillas por medio del Consejo Provincial del Tena.

5.1.2 Análisis de Producción Energética de la micro Central Pucuno.

La producción energética de una micro central hidroeléctrica se ve afectada por las condiciones de mercado del sistema en el cual operará, por las características hidrológicas del río en donde se implantará y por las probabilidades de falla de los equipos electromecánicos. Por tal razón, es necesario aclarar que no puede tener un



mismo valor económico el kWh, que la central es capaz de generar a la hora de máxima demanda o en un periodo hidrológico crítico, con un kWh generado en horas de baja demanda y periodos hidrológicos normales.

Considerando lo anterior, tradicionalmente se ha definido una producción representativa de una central hidroeléctrica a través del tiempo. Esta producción está dada por los siguientes parámetros:

- *Energía Firme*
- *Energía Media*
- *Energía Secundaria*
- *Potencia remunerable puesta a disposición.*

Energía firme.

Es la energía anual que la central de generación puede entregar al mercado en las condiciones de una hidrología seca y con un caudal cuya probabilidad de excedencia sea igual al 90%. Por lo tanto la energía firme se calcula aplicando la ***ecuación 5.1***⁹¹.

$$E_f = \eta_{g-t} * g * H * Q_{90\%} * T_{op} \quad (5.1)$$

Donde:

- E_f → *Energía firme*
- η_{g-t} → *Eficiencia turbina generador*
- $Q_{90\%}$ → *Caudal 90%*
- H → *Altura neta*
- T_{op} → *Tiempo de operación de la central*
- g → *Gravedad 9.8 m/seg²*

⁹¹ OLADE-ITDG Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas. Perú. 1995. Página 256



Energía media.

Con igual metodología aplicada para el cálculo de la energía firme, se ha determinado la energía media, en éste caso, el caudal de diseño, utilizado corresponde al de diseño de la central. Además, ésta energía está afectada por el factor de planta de la central y se calcula utilizando la ***ecuación 5.2.***

$$Em = Fp * \eta_{g-t} * g * H * Q_D * T_{op} \quad (5.2)$$

Donde:

Em	→	<i>Energía media</i>
η_{g-t}	→	<i>Eficiencia turbina generador</i>
Q_D	→	<i>Caudal Diseño</i>
Fp	→	<i>Factor de planta</i>
H	→	<i>Altura neta</i>
T_{op}	→	<i>Tiempo de operación de la central</i>
g	→	<i>Gravedad 9.8 m/seg²</i>

Energía Secundaria.

Por definición, la energía secundaria se determina como la diferencia entre la energía media y energía firme del aprovechamiento, se expresa mediante la ***ecuación 5.3.***

$$Es = Em - Ef \quad (5.3)$$

Donde:

Es	→	<i>Energía Secundaria</i>
------	---	---------------------------

Potencia Remunerable puesta a disposición.

Para proyectos hidroeléctricos a filo de agua que no dispone de reservorio de regulación, la potencia remunerable corresponde al valor obtenido de la multiplicación



del caudal firme por la altura neta, gravedad y la eficiencia del grupo turbina – generador, como indica la *ecuación 5.4*.

$$P_{RPD} = \eta_{t-g} * g * Q_{90\%} * H \quad (5.4)$$

Donde:

P_{RPD} → *Potencia Remunerable Puesta a Disposición*

– **Resumen de resultados.**

Aplicando las ecuaciones descritas anteriormente y utilizando una hoja de cálculo se obtienen los siguientes valores que se reflejan en las *tablas 5.1 y 5.2*.

PROYECTO HIDROELECTRICO PUCUNO						
Calculo de la Potencia de la Central						
Caudal Firme	0.3			A	Altura de caída neta	51
Caudal Diario	-	-		B	Aceleración de la gravedad	9.8
Caudal Mensual	-	-		C	Eficiencia del grupo Turbina - Generador	0.85
Caudal Medio	-	-		D	Caudal de Diseño	0.3
Caudal de Diseño	0.3					
Caudal de Diseño	0.3				Potencia de la Central	127.45 Kilovatios
Gravedad	9.8					0.1274 Megavatios
						Potencia de la Central = A*B*C*D
Calculo de la Energía Firme o Primaria						
Caudal Firme	0.3			A	Altura de caída neta	51
Caudal Diario	-	-		B	Aceleración de la gravedad	9.8
Caudal Mensual	-	-		C	Eficiencia del grupo Turbina - Generador	0.85
Caudal Medio	-	-		D	Caudal 90%	0.3
Caudal de Diseño	0.3			E	Numero de horas que opera la central	7920
Caudal de Diseño	0.3				Energía Firme o Primaria	1009396 KWH
Gravedad	9.8					1009.4 MWH
Numero de horas que la central opera	7920					
						Energía Firme o Primaria = A*B*C*D*E
Calculo de la Energía Media						
Caudal Firme	0.3			A	Altura de caída neta	51
Caudal Diario	-	-		B	Aceleración de la gravedad	9.8
Caudal Mensual	-	-		C	Eficiencia del grupo Turbina - Generador	0.85
Caudal Medio	-	-		D	Caudal de Diseño	0.3
Caudal de Diseño	5.6			F	Factor de Planta	1
Caudal de Diseño	0.3				Energía Media de la Central	1009396 KWH
Gravedad	9.8					1009.4 MWH
Factor de Planta	100					
						Energía media = A*B*C*D*E
Calculo de la Energía Secundaria						
Energía Media	1009.396	MWH			Energía Secundaria de la Central	0.0 KWH
Energía Firme o Primaria	1009.4	MWH				0.000 MWH
						Energía Secundaria = Energía Media - Energía Firme o Primaria



Calculo de la Potencia Remunerable puesta a disposicion

Caudal Firme	0.3	A	Altura de caída neta	51
Gravedad	9.8	B	Aceleracion de la gravedad	9.8
		C	Eficiencia del grupo Turbina - Generador	0.85
		D	Caudal Firme	0.3

Potencia de la Central remunerable puesta a disposicion **127.45 Kilovatios**
0.12745 Megavatios

*Potencia remunerable de la Central = A*B*C*D*

Tabla 5.1 Cálculo energético del proyecto PUCUNO

Tabla Resumen

Alternativa	Potencia Instalada	Potencia Remunerable	Energia Firme	Energia Secundaria	Energia Media
	(KW)	(KW)	(MWH)	(MWH)	(MWH)
Uno	127.4	127	1009.4	0.00000	1009.4

Tabla 5.2 Resumen energético del proyecto PUCUNO

5.1.3 Evaluación Financiera del Proyecto.

El presente estudio tiene como objetivo analizar el Proyecto PUCUNO a la luz de su retorno financiero y que cumplirá básicamente el cálculo de RENTABILIDAD de la inversión, según varios parámetros, además se determinará la factibilidad de que todos los costos puedan ser cubiertos oportunamente.

La evaluación económica financiera establecerá los principales criterios utilizados para evaluar la viabilidad de un proyecto. Frente a las limitaciones de los métodos que no consideran el valor tiempo del dinero, se presentarán dos alternativas con amortización del capital y sin amortización del capital, con su Valor presente Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Quizás el principal fundamento del TIR es brindar una mejor comprensión de los ejecutivos que ven en una tasa de rentabilidad una unidad de medida menos compleja que una cantidad de dinero neta expresado en términos actualizados.



5.1.4 Hipótesis de Cálculo.

1. La vida útil económica del proyecto de generación se ha considerado de 20 años.
2. No se considera inflación.
3. El costo de oportunidad del capital se considerará en base a la tasa vigente del Banco Central al 8%.
4. Los costos de operación y mantenimiento corresponden en gran proporción a remuneraciones del personal, o sea, son considerados como costos fijos, y en el caso de la micro central PUCUNO corresponde a US\$ 11000 anuales.

Estos valores corresponden a sueldos y salarios de un técnico operador cuya remuneración mensual es de US\$ 450, por lo que anualmente representan US\$ 5400, un ayudante de operación con remuneración de US\$ 240, lo que representa una anualidad de US\$ 2880.

Para mantenimiento se requiere de lubricantes, aceite hidráulico, repuestos menores como rodamientos para turbina- generador , sellos y empaques de la turbina, fajas planas o en V, juego de escobillas o carbones, fusibles de potencia y mando, trapos limpios, etc, cuyo monto anual asciende a US\$ 2000.

En el caso de nuestro sistema, a más de considerar el costo de generación, a este se le deberá ajustar el valor agregado de distribución, el cual contempla costos, por administración, recaudación, recolección de datos, planillas, cuyo monto anual asciende a US\$ 720.



5.1.5 Matemática Financiera para Evaluación Económica del Proyecto.

Para realizar la evaluación beneficio/costos, para poder determinar las formas de pago de las deudas, se requiere tener en cuenta los siguientes conceptos:

5.1.5.1 Valor Futuro del Dinero.

Es el valor futuro que alcanzará un capital P , colocado a una tasa de interés compuesto anual i , durante un periodo de n años. Se expresa mediante la siguiente *ecuación* (5.5):

$$F = P(1+i)^n \quad (5.5)$$

Donde:

- F → Valor futuro del dinero
- P → Valor presente del dinero
- i → Tasa de interés
- n → Número de periodos

Haciendo:

$$\left(\frac{F}{P}, i, n \right) = \left(1+i \right)^n$$

Donde:

$$\left(\frac{F}{P}, i, n \right) = \text{factor de capitalización por pago único para la tasa } i \text{ y } n \text{ años.}$$

5.1.5.2 Valor Presente del Dinero.

Es el valor actual de un monto de dinero futuro F , es decir, es el monto que debemos colocar hoy, a una tasa de interés i , durante n años para obtener después de esos n años el monto F . se expresa por la *ecuación* (5.6):



$$P = \frac{F}{(1+i)^n} \quad (5.6)$$

Haciendo:

$$\left(\frac{P}{F}, i, n\right) = \frac{1}{(1+i)^n}$$

Donde:

$$\left(\frac{P}{F}, i, n\right) = \text{factor de actualización por pago único.}$$

5.1.5.3 Valor presente de una serie de amortizaciones iguales.

Es valor actual (P) equivalente a una serie de n periodos e iguales (A), a una tasa de interés (i), expresada por la *ecuación* (5.7):

$$P = A * \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i) * i} \quad (5.7)$$

Haciendo:

$$\frac{P}{A} = \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i) * i}$$

Tenemos:

$$P = A * \left(\frac{P}{A}, i, n\right)$$

Donde:

$$\left(\frac{P}{A}, i, n\right) = \text{Factor de amortización}$$



Para el caso en particular de la micro central hidroeléctrica PUCUNO se ha determinado una inversión para implementación del proyecto que asciende a **638.311,68** dólares americanos, dicho valor se detalla más detenidamente en el numeral 5.3 (*Presupuesto Referencial*) ubicado en la página 186 de este capítulo.

5.1.5.4 Cuota Anual.

Una de las estrategias de desarrollo para el proyecto consiste en establecer una inversión, el cual establezca una cuota anual que será necesario depositar a cierta tasa de interés, para que al final de un número dado de años se amortice la inversión, para lo cual se utilizar la siguiente *ecuación (5.8)*:

$$C = \frac{VP}{\sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t}} \quad (5.8)$$

Donde:

$C \rightarrow$ Cuota anual

$VP \rightarrow$ Inversión inicial o valor inicial

Para el caso de PUCUNO se obtendrá una cuota anual que corresponda a la necesaria para cancelar la inversión inicial con un periodo de 20 años con un interés compuesto del 8%. Los resultados son los siguientes:

CALCULO DE LA CUOTA ANUAL POR 20 AÑOS PROYECTO PUCUNO			
Años	$(1+i)^t$	$1/(1+i)^t$	Inversión inicial
			\$ 638,311.68
			Cuota
			\$ 65,013.45
1	1.08	0.925925926	
2	1.1664	0.85733882	
3	1.259712	0.793832241	
4	1.36048896	0.735029853	
5	1.469328077	0.680583197	
6	1.586874323	0.630169627	
7	1.713824269	0.583490395	
8	1.85093021	0.540268885	
9	1.999004627	0.500248967	
10	2.158924997	0.463193488	
11	2.331638997	0.428882859	
12	2.518170117	0.397113759	
13	2.719623726	0.367697925	
14	2.937193624	0.340461041	
15	3.172169114	0.315241705	
16	3.425942643	0.291890468	
17	3.700018055	0.270268951	
18	3.996019499	0.250249029	
19	4.315701059	0.231712064	
20	4.660957144	0.214548207	
Sumatorio		9.818147407	



5.2 RENDIMIENTO DEL PROYECTO.

5.2.1 Indicadores o Criterios de Evaluación.

- **El valor presente neto (VAN).**

Este criterio plantea que el proyecto debe aceptarse si su valor actual neto (*VAN*) es igual o superior a cero, donde el *VAN* es la diferencia entre todos sus ingresos y egresos expresados en moneda actual. Se puede expresar la formulación matemática de este criterio de la *ecuación 5.9*.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (5.9)$$

Donde:

Y_t	→	<i>Flujo de ingresos del proyecto</i>
E_t	→	<i>Flujo de egresos del proyecto</i>
I_0	→	<i>Inversión inicial en el periodo cero de la evaluación</i>
n	→	<i>Número de años</i>
i	→	<i>Tasa de descuento</i>
t	→	<i>Periodo en años</i>

Si $VAN > 0$; El proyecto es factible.

Si $VAN = 0$; El proyecto es indiferente.

Si $VAN < 0$; El proyecto no es conveniente.

El resultado es una cifra monetaria que significa que, a una determinada tasa de descuento, el proyecto origina un *SALTO POSITIVO* o *NEGATIVA*, como resultado final de su realización.



En el caso específico de la central PUCUNO, el flujo de ingresos se encuentra determinado por la venta de energía (*si es el caso*) y por el ahorro de la comunidad por motivos de consumo de otro tipo de energía (*velas, pilas, generación a gasolina, etc*), los egresos se han considerado, por conceptos de operación y mantenimiento.

– **Tasa Interna de retorno (TIR).**

Evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo, con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual, por lo tanto la tasa interna de retorno representa la tasa de interés más alta que un inversionista pudiera pagar sin perder dinero. La tasa interna de retorno puede calcularse aplicando la **ecuación 5.10**.

$$\sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0 \quad (5.10)$$

Donde:

- r → Tasa interna de retorno
- Y_t → Flujo de ingresos del proyecto
- E_t → Flujo de egresos del proyecto
- I_0 → Inversión inicial en el periodo cero de la evaluación
- n → Número de años
- t → Periodo en años

Comparando la ecuación del *TIR* con la ecuación del *VAN*, puede apreciarse que éste criterio es equivalente a igualar el *VAN* a cero y determinar la tasa que le permite al flujo actualizado también ser cero. La tasa calculada se compara con las tasa activa de un banco (*TMA*), si el *TIR* es igual o mayor que el *TMA*, el proyecto debe aceptarse y si es menor debe rechazarse.



– *Relación beneficio - costo (B/C).*

Resulta ser la división entre beneficios y costos, actualizados a una misma tasa de descuento, la *ecuación 5.11* permite calcular dicho valor:

$$B / C_i = \frac{VPN \overbrace{B}_i}{VPN \overbrace{C}_i} \quad (5.11)$$

Si $B/C (i) > 1$; El proyecto es factible.

Si $B/C (i) = 1$; El proyecto es indiferente,

Si $B/C (i) < 1$; El proyecto no es conveniente.

Si el resultado es mayor que uno, significa que los beneficios que origina el proyecto son mayores que los costos, y si es menor que uno, los costos son mayores que los beneficios. Esta relación solo nos da una idea de proporcionalidad entre los beneficios con respecto a los costos.

5.2.2 Cálculos de Ingresos por Efectos de Venta de Energía.

En base a los cálculos energéticos, de la *tabla 5.2*, se procedió a realizar los cálculos de ingresos por efecto de venta de energía.

VENTA DE ENERGIA ANUAL CENTRAL HIDROELECTRICA PUCUNO						
DESCRIPCIÓN			PRECIO USD		TOTAL AÑO	
	CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD
<i>Potencia remunerable puesta a disposición</i>	127.4	kW	\$ 68.40	US\$/Kw/año	\$ 8,714.16	US\$/año
<i>Energía Primaria</i>	1009.4	MWh/año	\$ 66.90	US\$/MWh	\$ 67,528.86	US\$/año
<i>Energía Secundaria</i>	0	MWh/año	\$ 35.00	US\$/MWh	\$ 0.00	US\$/año
Ingreso Anual por venta de energía					\$ 76,243.02	US\$/año

Tabla 5.3 Tabla de cálculo de ingresos por venta de energía del proyecto PUCUNO



– **Calculo del TIR y VAN con amortización.**

Aplicando los criterios antes mencionados y utilizando una hoja de cálculos obtenemos los siguientes valores:

EVALUACION ECONOMICA PROYECTO PUCUNO AMORTIZADO									
PERÍODO	FLUJO DE INVERSIÓN GASTOS		FLUJO DE OPERACIÓN	FLUJO NETO	FLUJO DE INVERSIÓN		FLUJO DE OPERACIÓN	FLUJO NETO ACTUALIZADO	FLUJO NETO ACTUALIZADO
	INVERSIONES	CUOTA ANUAL	INGRESOS		ACTUALIZADO GASTOS	ACTUALIZADO CUOTA ANUAL	ACTUALIZADO O INGRESOS	8%	16.00%
0	\$ 0		0	0	0	0	0	0	0
1	\$ 0		0	0	0	0	0	0	0
2	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	9,431	0	65,366	55,935	48,344
3	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	8,732	0	60,524	51,792	41,615
4	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	8,085	0	56,041	47,956	35,823
5	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	7,486	0	51,890	44,403	30,836
6	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	6,932	0	48,046	41,114	26,544
7	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	6,418	0	44,487	38,069	22,849
8	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	5,943	0	41,192	35,249	19,669
9	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	5,503	0	38,140	32,638	16,931
10	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	5,095	0	35,315	30,220	14,575
11	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	4,718	0	32,699	27,982	12,546
12	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	4,368	0	30,277	25,909	10,800
13	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	4,045	0	28,034	23,990	9,296
14	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	3,745	0	25,958	22,213	8,002
15	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	3,468	0	24,035	20,567	6,888
16	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	3,211	0	22,255	19,044	5,930
17	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	2,973	0	20,606	17,633	5,104
18	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	2,753	0	19,080	16,327	4,394
19	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	2,549	0	17,666	15,118	3,782
20	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	2,360	0	16,358	13,998	3,256
21	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	2,185	0	15,146	12,961	2,803
22	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	2,023	0	14,024	12,001	2,412
23	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,873	0	12,985	11,112	2,077
24	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,735	0	12,023	10,289	1,788
25	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,606	0	11,133	9,527	1,539
26	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,487	0	10,308	8,821	1,325
27	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,377	0	9,545	8,168	1,140
28	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,275	0	8,838	7,563	982
29	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,181	0	8,183	7,002	845
30	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,093	0	7,577	6,484	727
31	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,012	0	7,016	6,003	626
32	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	937	0	6,496	5,559	539
33	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	868	0	6,015	5,147	464
34	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	803	0	5,569	4,766	399
35	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	744	0	5,157	4,413	344
36	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	689	0	4,775	4,086	296
37	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	638	0	4,421	3,783	255
38	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	591	0	4,094	3,503	219
39	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	547	0	3,790	3,243	189
40	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	506	0	3,510	3,003	162
41	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	469	0	3,250	2,781	140
42	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	434	0	3,009	2,575	120
43	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	402	0	2,786	2,384	104
44	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	372	0	2,580	2,207	89
45	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	345	0	2,389	2,044	77
46	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	319	0	2,212	1,893	66
47	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	295	0	2,048	1,752	57
48	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	274	0	1,896	1,623	49
49	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	253	0	1,756	1,502	42
50	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	235	0	1,626	1,391	36
TOTALES =					124,383		862,122	737,739	\$ 347,096
					VALOR PRESENTE NETO =			737,739	
					TIR =			16.00%	
					RELACION BENEFICIO/COSTO =			6.9	

Tabla 5.4 Tabla de cálculo de indicadores de evaluación de proyecto PUCUNO AMORTIZADO



– Cálculo del TIR y VAN sin amortización.

EVALUACION ECONOMICA PROYECTO PUCUNO SIN AMORTIZACIÓN									
PERÍODO	FLUJO DE INVERSIÓN GASTOS		FLUJO DE OPERACIÓN	FLUJO NETO	FLUJO DE INVERSIÓN		FLUJO DE OPERACIÓN	FLUJO NETO	FLUJO NETO
	ADMINISTRACION	CUOTA ANUAL	INGRESOS		ACTUALIZADO GASTOS	ACTUALIZADO CUOTA ANUAL	ACTUALIZADO INGRESOS	ACTUALIZADO 8%	ACTUALIZADO 3.15%
0	\$ 319,156		0	-319,156	319,156	0	0	-319,156	-319,156
1	\$ 319,156		0	-319,156	295,514	0	0	-295,514	-308,363
2	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	9,431	55,739	65,366	197	214
3	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	8,732	51,610	60,524	182	207
4	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	8,085	47,787	56,041	169	200
5	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	7,486	44,247	51,890	156	193
6	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	6,932	40,970	48,046	145	187
7	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	6,418	37,935	44,487	134	180
8	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	5,943	35,125	41,192	124	174
9	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	5,503	32,523	38,140	115	168
10	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	5,095	30,114	35,315	106	163
11	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	4,718	27,883	32,699	98	157
12	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	4,368	25,818	30,277	91	152
13	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	4,045	23,905	28,034	84	147
14	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	3,745	22,135	25,958	78	142
15	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	3,468	20,495	24,035	72	137
16	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	3,211	18,977	22,255	67	132
17	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	2,973	17,571	20,606	62	128
18	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	2,753	16,270	19,080	57	124
19	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	2,549	15,064	17,666	53	119
20	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	2,360	13,949	16,358	49	115
21	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	2,185	12,915	15,146	46	111
22	\$ 11,000	\$ 65,013	76,243	230	2,023	11,959	14,024	42	108
23	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,873	0	12,985	11,112	29,574
24	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,735	0	12,023	10,289	28,574
25	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,606	0	11,133	9,527	27,607
26	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,487	0	10,308	8,821	26,674
27	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,377	0	9,545	8,168	25,772
28	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,275	0	8,838	7,563	24,900
29	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,181	0	8,183	7,002	24,058
30	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,093	0	7,577	6,484	23,245
31	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	1,012	0	7,016	6,003	22,459
32	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	937	0	6,496	5,559	21,699
33	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	868	0	6,015	5,147	20,965
34	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	803	0	5,569	4,766	20,256
35	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	744	0	5,157	4,413	19,571
36	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	689	0	4,775	4,086	18,910
37	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	638	0	4,421	3,783	18,270
38	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	591	0	4,094	3,503	17,652
39	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	547	0	3,790	3,243	17,055
40	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	506	0	3,510	3,003	16,479
41	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	469	0	3,250	2,781	15,921
42	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	434	0	3,009	2,575	15,383
43	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	402	0	2,786	2,384	14,863
44	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	372	0	2,580	2,207	14,360
45	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	345	0	2,389	2,044	13,875
46	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	319	0	2,212	1,893	13,405
47	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	295	0	2,048	1,752	12,952
48	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	274	0	1,896	1,623	12,514
49	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	253	0	1,756	1,502	12,091
50	\$ 11,000	\$ 0	76,243	65,243	235	0	1,626	1,391	11,682
TOTALES =					1,342,041		862,122	-479,918	-\$ 83,492
VALOR PRESENTE NETO =								-479,918	
TIR =								3.06%	
RELACION BENEFICIO/COSTO =								0.6	

Tabla 5 Tabla de cálculo de indicadores de evaluación de proyecto PUCUNO SIN AMORTIZADO

5.2.3 Análisis de indicadores económicos.

Luego del cálculo de los indicadores, nuestro trabajo en este ítem consiste en analizarlos.



a. Análisis de los Costos Vs Ingresos por Venta de Energía.

La tabla 3 de este capítulo indica que el ingreso por venta de energía es de **USD 76.243**, mientras que los costos para operar y mantener la central, *es de USD 10280*, sin embargo, en el caso de la central hidroeléctrica PUCUNO, se ha realizado análisis independientes respecto a la inversión, es decir con financiamiento, o amortizado, para lo cual si se suman los egresos por cuota anual por efecto del prestamos de USD 65.013,45 nos encontramos con un egreso total de USD 75.293,45

El análisis se basa en:

$$\text{USD Ingresos} - \text{USD egresos} = \text{USD Utilidad}$$

Se obtiene que:

– Caso Financiado.

$$\text{USD } 76.243 - \text{USD } 75.293,45 = \text{USD } 949.55$$

– Caso amortizado.

$$\text{USD } 76.243 - \text{USD } 10.280 = \text{USD } 65.963,00$$

ANÁLISIS.

Es claro que el criterio de Ingresos Vs Egresos analiza la utilidad del proyecto, y de los resultados obtenidos se observa la inviabilidad existente en el caso financiado, de ningún modo un financiero realizaría inversiones en este proyecto, el caso amortizado es alentador puesto que se demuestra que además de cubrir los costos de operación, mantenimiento y administración el proyecto presenta una utilidad, por lo que en este caso el consultor aceptaría la viabilidad económica.



b. Análisis del VAN.

Con referencia a las tablas 4 y 5 de donde se tomaron los datos tanto en el caso amortizado como el sin amortización se realiza el siguiente análisis.

Como se determinó si el $VAN > 0$, el proyecto debe ser aceptado, en el caso de PUCUNO:

$$VAN_{financiado} = \text{USD } -479.918$$

$$VAN_{amortizado} = \text{USD } 737.739$$

ANÁLISIS.

Es claro, en el caso financiado, el valor negativo en la cifra significa que en la actualidad estamos adquiriendo una deuda de 479.918, lo que hace que el proyecto por ningún motivo se haga viable, no obstante, el VAN amortizado es alentador, mayor a cero, por lo tanto se debería considerar viable.

c. Análisis del TIR.

Con referencia a las tablas 4 y 5 de donde se tomaron los datos tanto en el caso amortizado como el sin amortización se realiza el siguiente análisis.

Como se determino si el $TIR > 0$, el proyecto debe ser aceptado, en el caso de PUCUNO:

$$TIR_{financiado} = 3.06\%$$

$$TIR_{amortizado} = 16 \%$$

El valor obtenido en el caso financiado es muy bajo, lo que significa que el flujo de caja en un periodo de tiempo muy largo podría hacer posible el pago de la deuda, no existiría utilidades, puesto que estas se destinarían al pago de la deuda. En este caso no es



aconsejable el proyecto, sin embargo, en el caso amortizado el indicador es alentador, razón por la que el proyecto debería ser aceptado.

d. Análisis del Beneficio- Costo.

Con referencia a las tablas 4 y 5, es importante aclarar que en la relación benéficos – costo se debe tomar los precios del valor total de la inversión del proyecto y la d los ingresos por venta de energía de la micro central. Así:

$$RBC = \frac{\text{Ingresos por ventade energia}}{\text{Inversiondel proyecto}}$$

Donde:

$RBC \rightarrow$ Relación beneficio- costo

– **Caso sin amortización o financiado:**

$$RBC = \frac{862122}{1342041}$$

$$RBC = 0.6$$

– **Caso amortizado:**

$$RBC = \frac{862122}{124383}$$

$$RBC = 6.9$$

Como se determino si el $B/C > 1$, el proyecto debe ser aceptado, en nuestro caso

$$B/C_{\text{financiado}} = 0.6$$

$$B/C_{\text{amortizado}} = 6.9$$



ANÁLISIS.

Normalmente este indicador es el más utilizado, por su análisis sencillo y comprensivo. En el caso financiando al igual que los anteriores indicadores, el proyecto no tiene viabilidad económica financiera, ante los ojos de un financista. Sin embargo, es alentador que en el caso amortizado el proyecto tiene su ventaja del beneficio 7.4 con respecto al costo, por lo que se consideraría un proyecto viable.

5.3 PRESUPUESTO REFERENCIAL.

Para realizar un presupuesto estimado del costo que resultará para implementar el proyecto Hidroeléctrico PUCUNO hay que primero definir ciertos parámetros:

- El proyecto es netamente social, razón por la cual no se recibirá ninguna remuneración económica por concepto de generación.
- El beneficio de generar energía eléctrica por medio de la micro central hidroeléctrica, se refleja directamente en los habitantes de la comunidad, debido a que tendrán un ahorro de dinero ya que no se utilizaran otro tipo de energía como velas, pilas, etc.
- El presupuesto referencial contempla tanto la implementación de la micro central como la implantación de las redes de distribución y transmisión.



– Presupuesto de la Micro Central PUCUNO.

DESCRIPCION	US\$
Obras Civil	350000
Equipo electromecanico (Suministro, transporte y montaje	8000
Equipo hidromecanico (Suministro, transporte y montaje	10000
Subtotal A	368000
Ingenieria y administracion (5 % de A)	18400
Imprevistos (2 % de A)	7360
Costos Total	393760

– Presupuesto de la Red de Transmisión y Red Distribución.

EMPRESA ELECTRICA QUITO S.A.				
DIVISION INGENIERIA DE DISTRIBUCION				
PRESUPUESTO ESTIMATIVO DE EQUIPOS Y MATERIALES				
FINANCIAMIENTO:				
NOMBRE PROYECTO:		MATERIALES		
PROYECTO No.:	1	PARTIDA PRESUPUESTARIA		
TIPO DE INSTALACION:		AEREA		
PARTIDA A:		TRANSFORMADORES		
CODI_MATE	CANT	V.UNITARIO	V.TOTAL	ESPECIFICACION
03017008	8	1,988.35	15906.8	TRANSF. MONOF. CONVENC. 25 KVA, 22860 GRDY / 13200 - 240 / 120 V, 1B, -4X2.5%
Subtotal.....			15906.8	

PARTIDA B:		EQUIPOS DE PROTECCION Y SECCIONAMIENTO		
CODI_MATE	CANT	V.UNITARIO	V.TOTAL	ESPECIFICACION
02621110	16	3.18	50.88	CARTUCHO FUSIBLE PARA BT, TIPO NH TAMANIO 1, 100 A.
02631125	16	7.62	121.92	BASE PORTAF. UNIP. BT, TIPO NH TAMANIO 1, 250 A, 500 V, T.A. AGUJERO PASANTE
02624105	8	3.66	29.28	TIRAFUSIBLE A.T. CABEZA REMOVIBLE 5 A, TIPO H
02601805	8	59.71	477.68	PARARRAYOS CLASE DISTRIBUCION, OXIDO METALICO, CUERPO POLIMERICO, 18 KV.
02624212	6	3.66	21.96	TIRAFUSIBLE A.T. CABEZA REMOVIBLE 12 A, TIPO K
02512708	14	45.82	641.48	SECCIONADOR FUSIBLE UNIP. ABIERTO 15/27 KV, 125 KV BIL, 8 KA, 100 A.
Subtotal.....			1343.2	

PARTIDA C:		EQUIPOS DE ALUMBRADO PUBLICO		
CODI_MATE	CANT	V.UNITARIO	V.TOTAL	ESPECIFICACION
02785667	121	145	17545	LUMINARIA SODIO CERRADA SIN RECEPTACULO COMPLETA 100 W.
Subtotal.....			17545	



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

PARTIDA D:		AISLADORES			
CODI_MATE	CANT	V.UNITARIO	V.TOTAL	ESPECIFICACION	
02010101	252	11.7	2948.4	AISLADOR DE SUSPENSION PORCELANA CLASE ANSI 52-1	
02010311	270	10.67	2880.9	Aislador tipo espiga, radiointerferencia clase ANSI 56-1 23 kV.	
02010703	13	3.61	46.93	AISLADOR RETENIDA PORCELANA CLASE ANSI 54-3	
02010502	627	1.36	852.72	AISLADOR ROLLO DE PORCELANA CLASE ANSI 53-2	
Subtotal.....			6728.95		

PARTIDA E:		CONDUCTORES DESNUDOS			
CODI_MATE	CANT	V.UNITARIO	V.TOTAL	ESPECIFICACION	
01013137	7181.18	0.34	2441.60	Conduct. cableado, aleac. Al, No. 4 AWG m	
01013142	8664.11	1.05	9097.32	Conduct. cableado, aleac. Al, No. 2/0AWG m	
01034143	23469.23	5.77	135417.46	Conduct. cableado, aleac. Al, No. 3/0AWG m	
01011139	520	4.72	2454.40	CONDUCTOR DESNUDO COBRE RECOCIDO SUAVE No. 2 AWG, 7 HILOS.	
Subtotal.....			149410.77		

PARTIDA F:		CONDUCTORES AISLADOS Y ACCESORIOS			
CODI_MATE	CANT	V.UNITARIO	V.TOTAL	ESPECIFICACION	
01021139	64	4.93	315.52	CONDUCTOR DE COBRE AISLADO PVC, 600 V. TW No. 2 AWG, 7 HILOS	
Subtotal.....			315.52		

PARTIDA G:		ACCESORIOS PARA CONDUCTORES			
CODI_MATE	CANT	V.UNITARIO	V.TOTAL	ESPECIFICACION	
02112124	20	18.79	375.8	GRAPA DERIVACIÓN CALIENTE AL No. 8 - 2/0 AWG Y 8 - 1/0 AWG	
02110112	84	14.34	1204.56	Grapa terminal, pistola, Al 6 al 2/0 AWG	
02050102	618	5.77	3565.86	CONNECTOR RANURA PARALELA CU-SN, 1 PERNO, No. 8 - 2/0 AWG. TIPO2, CLASE B.	
01012137	1562	0.56	874.72	Conductor desnudo sólido de Al para ataduras, No. 4 AWG	
01012135	126	0.35	44.1	Conductor de Al para ataduras No. 6 AWG m	
02280137	70	0.84	58.8	RETENEDOR TERMINAL PREFORMADO DE AL. No. 4 AWG.	
01012301	1794	0.49	879.06	CINTA DE ARMAR, ALEACION DE ALUMINIO 1.27 MM X 7.62 MM.	
02280141	161	2.58	415.38	RETENEDOR TERMINAL PREFORMADO DE AL. No. 1/0 AWG.	
02280139	92	1.06	97.52	Varilla de Al preformado para un soporte No. 2 AWG (Retenedor Terminal Preformado).	
Subtotal.....			7515.8		

PARTIDA H:		MATERIAL PARA CONEXION A TIERRA			
CODI_MATE	CANT	V.UNITARIO	V.TOTAL	ESPECIFICACION	
02351650	52	2.76	143.52	Conector de bronce, varilla cprweld. 16mm	
02351618	52	14.06	731.12	Varilla de cooperweld 16mm diam.x 1.80m	
Subtotal.....			874.64		

PARTIDA I:		POSTES			
CODI_MATE	CANT	V.UNITARIO	V.TOTAL	ESPECIFICACION	
02420561	126	280	35280	POSTE DE HORMIGON CIRCULAR DE 500 KG, LONG. 11.5 M.	
02420509	63	190.96	12030.48	POSTE DE HORMIGON CIRCULAR DE 500 KG, LONG. 9 M.	
Subtotal.....			47310.48		

PARTIDA J:		MISCELANEOS			
CODI_MATE	CANT	V.UNITARIO	V.TOTAL	ESPECIFICACION	
02056203	4	5.36	21.44	Conector ranura paralela doble dentado, hermético, al/cu aislados 4 - 3/0 AWG y 4 - 3/0 AWG, con tuerca fusible	
07070430	62	9.34	579.08	BLOQUE DE ANCLAJE FORMA TRONCO CONICO DE 40 X 27 X 10 CM.	
Subtotal.....			600.52		



– **Total micro central hidroeléctrica, red de transmisión y red de distribución.**

INSTALACION DEL SISTEMA ELECTRICO				
	Descripción	Activos Fijos	Cantidad	Valor
Micro Central Hidroeléctrica				
Obras Civiles	Vía de acceso, canal de conducción, desarenador casa de maquinas, subestación de elevación	350000	1	350000
Equipo electromecánico	Turbina y generador	8000	1	8000
Equipo hidromecánico	Reguladores y protecciones	10000	1	10000
Ingeniería y Administración	Diseños	18400	1	18400
Imprevistos		7360	1	7360
Red de Transmisión y Red de distribución				
Partida A	Transformadores	15906.8	GLB	15906.8
Partida B	Equipos de protección y seccionamiento	1343.2	GLB	1343.2
Partida C	Equipos de alumbrado publico	17545	GLB	17545
Partida D	Aisladores	3728.95	GLB	3728.95
Partida E	Conductores desnudos	149410.77	GLB	149410.77
Partida F	Conductores aislados y accesorios	315.52	GLB	315.52
Partida G	Accesorios para conductores	7515.8	GLB	7515.8
Partida H	Materiales para conexión a tierra	874.64	GLB	874.64
Partida I	Postes	47310.48	GLB	47310.48
Partida J	Misceláneos	600.52	GLB	600.52
TOTAL				638311.68



CONCLUSIONES.

1. El caudal del río que alimentará la central es apropiado para que la turbina y generador funcione en condiciones normales de operación sin sufrir daños. En éste caso, el caudal firme está por encima del caudal de diseño, lo que llevo a concluir que el equipo electromecánico sea instalado para satisfacer la demanda de energía en la población de Wuamaní.
2. Considerando la ubicación de la casa de máquinas y realizado el análisis de los tipos de regulación de velocidad, se establece la utilización de regulación por carga balastro, ya que presenta mayores ventajas con relación a la regulación de velocidad por caudal.
3. Realizado el estudio de carga y demanda máxima de la población de Wuamaní, se concluye que la micro central tiene la capacidad de brindar un servicio continuo y seguro, sin tener problemas en el futuro por aumento de carga.
4. Debido al nivel de voltaje, se decidió construir un línea de distribución trifásica a cuatro hilos en media tensión a 13.8 KV, de esta manera se satisface a una mayor cantidad de usuarios por cada circuito.
5. De las reuniones realizadas con los habitantes de la comunidad, se destaca el interés de la población para la construcción de las obras de la micro central .Estableciendo de esta manera un ahorro significativo en la inversión inicial.



6. Como el proyecto tiene un alto impacto social y realizado el diseño del análisis económico, se ha determinado realizar el proyecto por medio de amortización en un periodo de 20 años, ya que por medio de un financiamiento el proyecto no es atractivo para ningún inversionista.

7. Se puede señalar que el proyecto puede servir como guía para el desarrollo de proyectos similares que estuviesen enfocados a zonas rurales, ya que proporciona una visión general de todos los componentes que conforman el sistema.

8. Con el análisis del económico se determinó que un proyecto de generación independiente tiene que ser amortizado, ya que los poblados que se alimentarán no son objeto de crédito.

9. La resistividad de tierra de la casa de máquinas es baja por lo tanto hacer mejoras en el diseño de la malla de tierra.



RECONEDACIONES

1. Para la implantación de la casa de máquinas se recomienda realizar una compactación y desbanques del terreno para de esta manera evitar en el futuro un movimiento de tierras, ya que en esta región los terrenos no son estables debido a la humedad propia de la zona.
2. Por la hidrología del río y por la gran cantidad de lastres que este contiene, se recomienda la construcción de un desarrenador de doble cámara para evitar daños en la turbina y facilitar el proceso de mantenimiento.
3. Hay muchos métodos para determinar el salto neto, pero el que se recomienda por su exactitud es el GPS (*Global Positioning System*). Cabe señalar que el GPS nos da un valor de altura bruta a la que se le resta las pérdidas para obtener la altura neta la cual se utiliza para los diseños.
4. Al realizar la construcción de la línea de transmisión, se recomienda evitar en lo posible pendientes y curvas pronunciadas, procurando en el desarrollo del proyecto no tener un impacto ambiental elevado
5. En la implementación del sistema de generación, línea transmisión y red de distribución de media y baja tensión, se recomienda ajustarse a los parámetros de diseño.
6. Para la realización de este proyecto, se debe elaborar un cronograma de actividades para un desarrollo normal de la construcción y optimizar de esta manera el aporte de la comunidad.



BIBLIOGRAFIA.

1. Empresa eléctrica Quito S.A. Normas para Sistemas de Distribución - Parte A y B -Guías de Diseño. Edición revisada y Actualizada a Marzo del 2008.
2. Enciclopedia Autodidactica OCEANO (Física-Energía-Electricidad). Editorial OCEANO. Milanesat. Barcelona (España).1994.
3. IEEE STD 1036-1992, IEEE Guide for Application of Shunt Power Capacitor, IEEE Power Engineering Society transmission and Distribution Committee.
4. OLADE-ONUDI. Micro Centrales Hidroeléctricas. Manual de toma de decisiones.1981.
5. OLADE-ITDG PERU. Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas. Una guía para el desarrollo de proyectos. Coz Federico. Sánchez Teodoro. Ramírez Javier- Lima 1995.
6. OLADE. Manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas. Vol 1. Diseño, estandarización y fabricación de turbinas.
7. CATALOGOS TECNICOS, Compania ABB.
8. CORRALES Martín Juan, Calculo Industrial de Maquinas Eléctricas, Tomo II.
9. E.SANTOS Potess, Centrales Eléctricas
10. Enríquez Harper. Elementos de Centrales Eléctricas II. Editorial Limusa.1983.
11. Ramiro Ortiz Flórez. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.
12. Ramírez Vásquez José. Maquinas Motrices, Generadores de Energía.



ANEXOS



Anexo No 1

Estructuras de Soporte (Lista de Elementos)



Anexo No 2

Planos Eléctricos (Urbanizaciones, Ubicación de Transformadores de Distribución y Acometidas)



Anexo No 3

*Normas para el diseño de transformadores de
Distribución*

