

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA



LINEA DE SUBTRANSMISION SUBTERRANEA  
EN 60 kV DESDE S.E. PUENTE 60/10 kV  
AL km 4,20 DE LA CARRETERA CENTRAL

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

ALDO VIACAVA NAJERA

PROMOCION 1992 - I  
LIMA - PERU  
1 997

## SUMARIO

Grandes y medianas empresas con tendencia a seguir creciendo disponen de una demanda actual y futura que supera la capacidad de transporte de las redes primarias en 10 kV en la provincia de Lima y alrededores. Por consiguiente su alimentación deberá ser con la tensión inmediata superior formalmente establecida que es 60 kV .

A lo anterior se incluye instalaciones existentes con más de 25 años y con tecnologías antiguas que ocasionan mal servicio, grandes pérdidas y ya deben ser actualizadas y repotenciadas.

En el nivel de tensión de 60 kV lo más adecuado técnica y económicamente es una línea aérea, pero debido a la existencia de líneas de transmisión en niveles de 10 kV, 60 kV, 220 kV y al desarrollo de la ciudad de Lima que limita progresivamente el empleo de líneas aéreas, es que obligan a emplear cada vez más, cables subterráneos. Como es sabido, esto implica costos muy elevado así como una tecnología avanzada de fabricación.

En el presente estudio se ha elaborado una metodología para el diseño completo de líneas de transmisión subterráneas en 60 kV .

LINEA DE SUBTRANSMISION SUBTERRANEA EN  
60 kV DESDE LA S.E. PUENTE 60/10 kV AL  
km 4,2 DE LA CARRETERA CENTRAL

## EXTRACTO

TITULO : LINEA DE SUBTRANSMISION SUBTERRANEA EN  
60 kV DE LA S.E. PUENTE 60/10 kV AL km  
4,2 DE LA CARRETERA CENTRAL

AUTOR : ALDO VIACAVA NAJERA

GRADO A OPTAR : INGENIERO ELECTRICISTA

UNIVERSIDAD : UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD : FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y  
ELECTRONICA

LIMA 1 997

El capitulo I es la memoria descriptiva la cual resume prácticamente todo el proyecto pues resalta la ubicación del proyecto, el motivo por la que se escogió la alternativa subterránea, los datos utilizados, las características de la línea, del cable y accesorios, detalla los resultados de los análisis y muestra el costo de la inversión así como el tiempo de ejecución.

El capitulo II muestra todos los análisis y cálculos justificativos del proyecto. Se evalúan las características de los materiales, se selecciona la sección del conductor de acuerdo a diversos parámetros y se realiza una evaluación económica que permitirá escoger los materiales a utilizar. Además define los detalles de instalación.

El capítulo III son las especificaciones técnicas de suministro de cada material a utilizar en el proyecto. Especifica el tipo de cable, el tipo de aislamiento que debe tener, características de los accesorios, las pruebas a las cuales deben ser sometidas en fábrica así como la información técnica que debe proporcionar el suministrador.

El capítulo IV son las especificaciones técnicas de construcción de la línea en todas sus etapas. Especifica como debe ser la construcción civil antes y después del tendido del cable, indicando los materiales a utilizar y detalla las condiciones para realizar el tendido del cable en forma adecuada. Indica también los criterios a seguir para el montaje de los accesorios.

El capítulo V es el metrado y presupuesto del proyecto. Se indican primero las premisas utilizadas para el cálculo de un presupuesto aproximado y luego se muestra las hojas de cálculo con el presupuesto, tanto de suministro, montaje electromecánico y obras civiles. Además muestra un resumen de todo el presupuesto con los componentes del mismo.

El capítulo VI es el cronograma de suministro y ejecución de la línea. Se indica primero las premisas utilizadas y luego se muestra en un cuadro los tiempos aproximados de suministro y obra del proyecto.

Luego de las conclusiones y recomendaciones se muestran acápites que permitirán sustentar varias partes del proyecto y también contienen catálogos de cables y accesorios proporcionados por diversos fabricantes.

Como última parte se incluyen 09 planos que indican desde la ubicación del proyecto, pasando por las alternativas aérea y subterránea, el recorrido del cable, hasta los detalles de los materiales y su instalación.

## CONTENIDO

PROLOGO	1
CAPITULO I	
MEMORIA DESCRIPTIVA	3
1.1 Objetivo	3
1.2 Características del área del proyecto	3
1.2.1 Ubicación	3
1.2.2 Características climatológicas y ambientales	3
1.3 Decisión de la alternativa subterránea	4
1.3.1 Características del suministro actual de energía	4
1.3.2 Decisión de la alternativa subterránea	5
1.4 Datos reales utilizados	7
1.4.1 Proyección y características de la demanda de energía eléctrica	7
1.4.2 Punto de alimentación e información técnica	9
1.5 Características de la línea de subtransmisión en 60 kV	9
1.5.1 Características eléctricas del sistema	9
1.5.2 Sistema de protección	10
1.5.3 Coordinación de aislamiento	10
1.5.4 Salida de la subestación Puente	10
1.5.5 Características de la línea	11
1.6 Costo de la inversión	15
1.7 Cronograma de suministro y construcción	16

## VIII

### CAPITULO II

DISEÑO DE LA LINEA DE SUBTRANSMISION SUBTERRANEA	17
2.1 Determinación de factores de carga y pérdidas	17
2.2 Selección técnico económica del cable	20
2.2.1 Procedimiento	20
2.2.2 Características de los cables y accesorios	20
2.2.3 Costo del cable y accesorios	28
2.2.4 Selección de la sección del conductor por capacidad de transporte de corriente	33
2.2.5 selección de la sección del conductor por caída de tensión	38
2.2.6 Selección de la sección del conductor por capacidad térmica de cortocircuitos	43
2.2.7 Pérdidas de potencia y energía en cables	46
2.2.8 Costos de potencia y energía	62
2.2.9 Evaluación económica para elegir la sección del conductor	69
2.2.10 Resultados	70
2.3 Características de la instalación	70

### CAPITULO III

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE SUMINISTRO	96
3.1 Cable de energía	96
3.1.1 Objeto	96
3.1.2 Normas aplicables	96
3.1.3 Condiciones de instalación	97
3.1.4 Condiciones de servicio	97
3.1.5 Características técnicas del cable	97

3.1.6	Embalaje	99
3.1.7	Pruebas	99
3.1.8	Informaciones	100
3.2	Accesorios del cable	101
3.2.1	Objeto	101
3.2.2	Normas aplicables	102
3.2.3	Condiciones de instalación	102
3.2.4	Características técnicas de los accesorios	102
3.2.5	Pruebas	104
3.2.6	Informaciones	105
CAPITULO IV		
ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CONSTRUCCION		106
4.1	Generalidades	106
4.1.1	Objeto	106
4.1.2	Alcances	106
4.1.3	Condiciones generales	106
4.1.4	Programación de los trabajos	107
4.2	Trabajos previos al tendido de cables	107
4.2.1	Trazo del recorrido	107
4.2.2	Rotura de veredas	108
4.2.3	Excavación de zanjas	108
4.2.4	Construcción de cruzadas	110
4.2.5	Buzones	114
4.3	Tendido de los cables	115
4.3.1	Manipuleo de los cables	115
4.3.2	Operación de tendido	117
4.4	Montaje de empalmes y terminales	119

4.5	Protección y señalización de los cables	120
4.5.1	Solado de concreto	120
4.5.2	Tierra especial	120
4.5.3	Suministro y colocación de losetones de concreto	120
4.5.4	Colocación de la cinta señalizadora	121
4.5.5	Relleno compactado	121
4.5.6	Retiro del desmonte	122
4.6	Reparación de pavimentos	122
4.6.1	Generalidades	122
4.6.2	Garantía	123
4.6.3	Materiales	123
4.6.4	Especificaciones de construcción	124
CAPITULO V		
METRADO Y PRESUPUESTO		132
5.1	Premisas	132
5.2	Presupuesto	133
CAPITULO VI		
CRONOGRAMA DE SUMINISTRO Y EJECUCION		138
6.1	Premisas	138
6.2	Cronograma	139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		141
BIBLIOGRAFIA		143
APENDICES		144
PLANOS		

## RELACION DE PLANOS

Número	Descripción
9203-200-001	Plano de ubicación del proyecto
9203-200-002 (1/3)	Recorrido de la línea
9203-200-002 (2/3)	Recorrido de la línea
9203-200-002 (3/3)	Recorrido de la línea
9203-200-003 (1/2)	Trazo de ruta alternativa aérea
9203-200-003 (2/2)	Trazo de ruta alternativa aérea
9203-200-004	Trazo de ruta alternativa subterránea
9203-200-005	Detalle de salida S.E. Puente 60/10 kV
9203-200-006	Detalle del cable, terminal, empalme e instalación

## PROLOGO

El propósito de este estudio es mostrar una metodología de diseño y cálculo de una línea de subtransmisión subterránea en el nivel de tensión de 60 kV, lo cual no es muy común por ser muy costosa, pero si las circunstancias lo ameritan habría que estar preparado.

Este estudio es presentado como un proyecto ya que cuenta con las partes principales como memoria, especificaciones técnicas de suministro y construcción, metrado y presupuesto base, cronograma de ejecución y planos.

En el diseño se realizan todos los análisis para seleccionar los materiales más convenientes y todos los cálculos para seleccionar la sección del conductor, así como una evaluación económica y luego se definen las características de la instalación para mostrarlos en los planos del proyecto.

Todos los resultados y conclusiones se resumen en las especificaciones técnicas para que los suministradores oferten sus productos y para que los contratistas sepan lo que van a instalar y presenten sus ofertas.

Las limitaciones para este estudio es que los materiales principales como cables, empalmes y terminales son productos de fabricación extranjera y los catálogos de los

fabricantes resultan la principal fuente de información.

Otra limitación es que a pesar de que en Lima existen gran cantidad de kilómetros de cables subterráneos instalados, estos son de hace muchos años y de una tecnología diferente por lo que sus diseños son diferentes al presentado en este estudio.

Cabe resaltar el reconocimiento a dos instituciones que brindaron su apoyo para la elaboración de este Proyecto. Principalmente a la Cervecería Backus y Johnston S.A. quien tiene mucho interés en los resultados de este estudio pues esta línea de transmisión subterránea en 60 kV será la fuente de alimentación a su nueva Planta de ATE y por lo tanto prestó el diagrama de carga de su planta del Rimac que será similar al de su nueva planta y dió algunos alcances como empresa de como debía llevarse a cabo el diseño. Por otro lado también a la empresa consultora Cesel S.A. que prestó su experiencia y el estudio de factibilidad para elaborar este estudio.

## CAPITULO I MEMORIA DESCRIPTIVA

### 1.1 Objetivo

Elaboración del Diseño Integral del Proyecto de Línea de Subtransmisión Subterránea en el nivel de tensión de 60 kV con una longitud de 3,20 km; ubicada entre el km 1,00 y el km 4,20 de la Carretera Central Lima, en una zona donde no es técnica ni económicamente favorable la construcción de una línea aérea.

Las características del sistema donde se ubica la línea y los datos utilizados en este estudio fueron proporcionados por la empresa de servicio eléctrico encargada y por empresas industriales de la zona interesadas en el estudio.

### 1.2 Características del área del proyecto

#### 1.2.1 Ubicación

El área del proyecto se encuentra ubicada en los distritos de Santa Anita y Ate-Vitarte, Provincia y Departamento de Lima. La línea subterránea en 60 kV se iniciará en una celda de la S.E. "Puente", definida como punto de alimentación, ubicada en el km 1,0 de la Carretera Central y llegará a un terreno industrial ubicado en el km 4,20 de la Carretera Central.

#### 1.2.2 Características climatológicas y ambientales

El área del proyecto se caracteriza por presentar un

clima subtropical y ausencia de precipitaciones pluviales y tormentas atmosféricas. La temperatura varía entre 15° en invierno a 35° en verano. La distancia promedio al mar es de 15 km y el efecto de ello es el elevado porcentaje de humedad el cual varía entre 90% en verano a 98% en invierno.

El área del proyecto se encuentra dentro de una zona industrial en permanente crecimiento razón por la cual la contaminación ambiental es muy notoria y se estima que al final del período de análisis del proyecto, la contaminación ambiental será pesada.

### 1.3 Decisión de la alternativa subterránea

#### 1.3.1 Características del suministro actual de energía

Actualmente la Empresa "Luz del Sur" suministra energía eléctrica a esta zona a la tensión de 10 kV. Los requerimientos de potencia y energía de esta zona no puede satisfacerse con este nivel de tensión por lo que los resultados de este estudio serán tomados en cuenta para utilizar el nivel de tensión de 60 kV

Las características de este suministro son:

potencia contratada	3500 kW
tensión contratada	10 kV
frecuencia de la red	60 Hz
Pliego tarifario	MT1
Tipo de carga	Industrial

La antigüedad de esta instalación es de 14 años.

Las fábricas de esta zona cuentan con grupos

electrógenos los cuales son puestos en funcionamiento cuando la demanda de potencia de la planta supera la capacidad de transporte de potencia de los cables de energía alimentadores.

Estos grupos electrógenos generalmente operan en sincronismo con la red de "Luz del Sur". Además también cuentan con bancos de condensadores automáticos para compensar el factor de potencia y mantenerlo con valores alrededor de 0,975; debido a ello no se efectúan pagos por concepto de energía reactiva.

### **1.3.2 Decisión de la alternativa subterránea**

Para la definición de las características principales de este sistema de subtransmisión existe un anteproyecto cuyos alcances y conclusiones se resumen a continuación:

Se consideraron 2 alternativas de recorrido a partir de la S.E. Puente 60/10 kV ; la primera con 3,2 km de longitud a lo largo de la carretera central, y la otra de 5,2 km a lo largo de las avenidas Los Frutales y Separadora Industrial. Ver Planos 9203-200-003 y 004.

Dada las características físicas y longitudes de los recorridos planteados, se estableció que por la carretera central sólo era posible el recorrido de una línea subterránea, mientras que por las avenidas Los Frutales y Separadora industrial dado su mayor longitud, solo podía admitirse una línea aérea.

La segunda alternativa de recorrido tenía que comprender necesariamente tres (03) tramos subterráneos; la primera a

la salida de la S.E. Puente debido a la presencia de líneas aéreas en 60 kV de propiedad de "Luz del Sur".

La segunda en el cruce de la Av. La Molina por cuya berma central recorre la línea en 220 kV Santa Rosa - San Juan. Este tramo subterráneo, después del cruce de la Av. La Molina, tendrá que prolongarse aproximadamente 150 m debido a que en este sector la Av. Separadora Industrial presenta un fuerte estrechamiento como consecuencia de la existencia de viviendas, talleres y otros establecimientos que en forma irregular, ocupan este espacio.

El tercer tramo subterráneo estaría localizado en el ingreso a la planta del cliente ya que las tendencias son no proyectar líneas aéreas dentro de sus terrenos.

Para la alternativa totalmente subterránea se efectuó la selección técnico económica del cable, para cuyo fin se consideraron los siguientes aspectos:

- caída de tensión
- . capacidad de corriente del cable
- capacidad térmica del cable debido a cortocircuitos
- . costo de inversión
- costo actualizado de pérdidas de potencia y energía

Para la alternativa aérea con algunos tramos subterráneos, también se efectuaron análisis técnico económicos para cuyo fin se consideraron los siguientes aspectos:

- . selección del material del conductor : cobre o aleación de aluminio

selección del aislamiento  
 determinación de la configuración geométrica y  
 capacidad mecánica de las estructuras  
 costo de inversión incluyendo reubicación de líneas de  
 media tensión.

costo actualizado de pérdidas de potencia y energía.

La comparación de costos directos para ambas alternativas sin incluir gastos generales e impuestos, permitió obtener la siguiente relación:

$$\frac{\text{Costo alternativa Subterránea}}{\text{Costo alternativa aérea con tramos subterráneos}} = 1,24$$

En vista de la diferencia relativamente moderada entre los costos de la alternativa totalmente subterránea y la alternativa aérea por un recorrido diferente con 5,2 km de longitud y con tres tramos subterráneos, se optó, previo acuerdo con la empresa interesada, por realizar el estudio de la primera.

#### 1.4 Datos reales utilizados

##### 1.4.1 Proyección y características de la demanda

Se tiene a disposición una proyección de la demanda de potencia para un horizonte de 25 años, comprendido entre 1 995 y 2 020. Este dato fue obtenido gracias a una empresa interesada en el presente estudio.

El Siguiete Cuadro muestra la evolución de la demanda de potencia eléctrica.

## Proyección de la demanda máxima de potencia eléctrica

ANO	<u>DEMANDA</u> <u>MAXIMA</u> (kW)
1 995	5 500
1 996	5 500
1 997	5 500
1 998	5 500
1 999	6 500
2 000	6 500
2 001	6 500
2 002	6 500
2 003	6 500
2 004	6 500
2 005	8 000
2 006	8 000
2 007	8 000
2 008	8 000
2 009	8 000
2 010	12 000
2 011	12 000
2 012	12 000
2 013	12 000
2 014	12 000
2 015	18 000
2 016	18 000
2 017	18 000
2 018	18 000
2 019	18 000
2 020	18 000

Los factores de carga y pérdidas determinados sobre la base de la información proporcionada, y que se mantendrán constantes durante el horizonte del proyecto, son las siguientes:

factor de carga	0,89
factor de pérdidas	0,80

Los detalles de cálculo de estos factores se muestran en el capítulo de diseño.

Con un criterio conservador, se asume que el factor de potencia es 0,90 y con este valor se efectuarán todos los análisis donde sea necesario su inclusión.

Se remarca el hecho que todos los análisis que se consignan en el presente proyecto han sido realizados tomando en consideración que la demanda de potencia eléctrica en cada año no sufrirá variaciones significativas respecto a la proyección mostrada en el cuadro anterior y que, de otro lado el suministro se efectuará sin restricciones en calidad ni en cantidad.

#### **1.4.2 Punto de alimentación e información técnica**

El punto de alimentación ha sido fijado en una de las celdas en 60 kV de la S.E. 60/10 kV Puente. Actualmente existen 2 celdas en 60 kV disponibles; para este proyecto se ha previsto la utilización de la celda que se encuentra más próxima a la carretera central.

De otro lado También se proporcionó la información relativa a la potencia de cortocircuito en el año 2 004 en la S.E. Puente y el tiempo de eliminación de fallas.

### **1.5 Características de la línea de subtransmisión 60 kV**

#### **1.5.1 Características eléctricas del sistema**

Las características eléctricas del sistema al cual se conectará la nueva línea de transmisión, son:

Tensión nominal de la red	60	kV
Tensión máxima de servicio de la red	66	kV
Frecuencia	60	Hz
Potencia de cortocircuito	2 000	MVA
Factor de sobretensión por maniobra	2,50	p.u.
Naturaleza del neutro	r í g i d a m e n t e puesto a tierra	

### 1.5.2 Sistema de protección

La línea de 60 kV estará protegida por un equipo de protección diferencial por hilo piloto de fibra óptica que permita eliminar las fallas entre fases y entre fases y tierra.

Asimismo se dispondrá de un equipo de protección que eliminará el flujo de potencia desde los grupos electrógenos a la red de Luz del Sur.

El equipo estará constituido por:

Un relé de protección diferencial longitudinal por hilo piloto

Un relé direccional de potencia

### 1.5.3 Coordinación de aislamiento

Como el neutro del sistema será rígidamente puesto a tierra, se ha adoptado como nivel de aislamiento interno y externo, el BIL de 325 kV . Se ha previsto la instalación de pararrayos que tendrán un mínima tensión de operación continua (MCOV) de 42 kV que protegerán al cable contra sobretensiones de maniobra.

### 1.5.4 Salida de la subestación Puente

En la celda de 60 kV de la subestación de Transmisión Puente 60/10 kV, desde la cual se alimentará la línea de transmisión en estudio, se dispondrá del siguiente equipamiento definido por la empresa suministradora de energía.

3 transformadores de medida combinado

1 interruptor de potencia

1 seccionador con puesta a tierra

Equipo de medición

1 relé de distancia

Adicionalmente, se solicitará a la mencionada empresa que se instale en la celda de 60 kV el siguiente equipamiento que deberá ser suministrados por el Cliente.

3 pararrayos de 42 MCOV, con sus respectivos contadores de descargas

1 relé diferencial longitudinal por hilo piloto

#### 1.5.5 Características de la línea

##### 1.5.5.1 Ruta de la línea

La línea subterránea se originará en una celda en 60 kV de la S.E. Puente y recorre a lo largo de la Carretera Central, en forma paralela a ella.

En todo el tramo existen 2 cruzadas con ductos de concreto. Estas cruzadas están ubicadas en la Av. Los Ruiseñores (Ovalo de Santa Anita) y en el cruce con el Río Surco.

Se ha previsto el uso de buzones para albergar los empalmes y en los cuales se efectuarán también las puestas a tierra de la pantalla metálica del cable.

La ubicación de los buzones se ha establecido partiendo de la premisa que los tramos de cable por carrete serán de 500 m sin embargo la ubicación definitiva será hecha una vez seleccionado el proveedor del cable y replanteado el recorrido del mismo.

### 1.5.5.2 Descripción del cable y condiciones de instalación

El cable de energía que se utilizará en este proyecto será unipolar y está conformado por conductores de cobre recocido de 120 mm<sup>2</sup>, aislamiento de polietileno reticulado (XLPE), pantalla metálica, cintas semiconductoras y cubierta exterior de polietileno color negro. La tensión nominal del cable será: E<sub>0</sub>/E = 35/60 kV.

Los cables unipolares se enterrarán directamente en el terreno dispuestos en un plano horizontal y con una separación de 120 mm entre el cable central y los extremos y a una profundidad de 1,50 m .

Para el cruce de cables y avenidas se utilizarán ductos de concreto de 6 vías, disponiéndose los cables en 60 kV en el nivel inferior, y en caso de instalarse con cables de menor tensión, éstos se instalarían en el nivel superior.

Las condiciones de instalación del cable son:

Resistividad térmica del terreno	150°C-cm/W
Temperatura del terreno	25°C
Temperatura ambiente promedio	20°C

Conexión a tierra de la pantalla del cable: en ambos extremos y en los empalmes

### 1.5.5.3 Accesorios del cable

#### a) Terminales

Los terminales serán de porcelana y serán adecuados para el cable especificado; incluirán cono de alivio de esfuerzo eléctrico y las masas aislantes para los rellenos pertinentes.

**b) Empalmes**

Los empalmes rectos estarán compuestos de conectores metálicos para el tipo y sección del cable, cintas de polietileno reticulado autovulcanizantes cintas semiconductoras, cintas metálicas, cajas de plástico y terminales de puesta a tierra.

El empalme una vez terminado deberá tener las características dieléctricas iguales o superiores a las del cable al cual se conectará.

**1.5.5.4 Puesta a tierra**

El cable subterráneo ha sido dimensionado considerando que la pantalla metálica estará conectada a tierra en los extremos terminales y en los empalmes. Esta modalidad de conexión tiene la desventaja de permitir una corriente circulante por la pantalla que produce pérdidas adicionales y produce una disminución de la capacidad de conducción de corriente.

La conexión alternativa consiste en poner a tierra la pantalla metálica del cable en un solo extremo de éste o en un empalme de tal manera que no exista un circuito cerrado por el cual pueda circular una corriente inducida. Esta forma de conexión tiene la desventaja de producir tensiones inducidas en el (los) extremos(s) no puestos a tierra que pueden ser peligrosas para el personal de operación.

En vista que la capacidad de transporte de corriente del cable proyectado es mucho mayor que la requerida al final del horizonte de análisis, se ha optado por la primera

forma de conexión a tierra de la pantalla.

La puesta a tierra de los terminales consistirá de conductor o pletina de cobre.

En los empalmes la conexión a tierra se efectuará mediante conductor de cobre recocido desnudo de 70 mm<sup>2</sup>, el cual se conectará a un electrodo de copperweld de 5/8"φ x 2,40 m clavado directamente en el terreno.

La resistencia eléctrica de la puesta a tierra en las cámaras de empalme será mejorada mediante la adición de sustancias tipo "Gel" de probada calidad.

#### **1.5.5.5 Protección de los terminales contra sobretensiones de maniobra**

Las sobretensiones de maniobra en el nivel de 60 kV del sistema alcanzan actualmente valores hasta de 2,7 p.u. y se considera que en el futuro podrían llegar a 3,0 p.u.

En tal sentido cuando las ondas de impulso de sobretensión de maniobra viajen por cable subterráneo y lleguen a un terminal, debido al cambio en la impedancia característica se producirán reflexiones de onda que podrían duplicar el valor de la onda incidente sometiendo al terminal del cable a esfuerzos eléctricos peligrosos.

Similar situación se producirá cuando al final del cable exista un interruptor abierto. Para contrarrestar los efectos dañinos de estas sobretensiones se ha previsto la utilización de pararrayos los cuales se ubicarán junto a los terminales del cable.

Estos pararrayos serán de oxido metálico para una

tensión nominal de 42 kV y operarán fundamentalmente contra sobretensiones de maniobra.

### 1.6 Costo de la inversión

El costo de la inversión en el Proyecto ha sido calculado en rigor teniendo en cuenta los costos de los equipos y construcción vigente al mes de Marzo de 1 997.

Por tratarse de una obra en donde gran parte es equipamiento, todos los costos estarán en US\$ tanto en moneda extranjera como en moneda nacional.

En el siguiente cuadro se muestra el resumen de costos para la línea de transmisión en 60 kV, sus componentes de Suministro, obras electromecánicas y obras civiles.

#### COSTO DE INVERSION DEL PROYECTO

SECCION	ME (US\$) (MILES)	MN (US\$) (MILES)	SUBTOTAL (US\$) (MILES)
Suministros	913,02	141,30	1 054,32
Obras Electromecánicas		128,10	128,10
Obras Civiles		80,90	80,90
Impuestos (IGV)		227,40	227,40
COSTO TOTAL DEL PROYECTO			1 490,73

Notas:

Los suministros son en puerto peruano.

Las Obras Electromecánicas incluyen transporte local de puerto peruano al lugar de las obras.

Todos los costos parciales incluyen los gastos generales y utilidades.

En el costo total no estan incluidos los gastos correspondientes a los derechos de conexión con la empresa suministradora de energía.

#### **1.7 Cronograma de suministro y construcción**

El tiempo estimado para el suministro y ejecución de la línea de subtransmisión subterránea en 60 kV es de doce (12) meses. El capítulo VI muestra con detalle el cronograma.

CAPITULO II  
DISEÑO DE LA LINEA DE SUBTRANSMISION SUBTERRANEA

2.1 Determinación de los factores de carga y pérdidas

Los factores de carga y pérdidas se determinan sobre la base del diagrama de carga típico mostrado en la Lámina 1, suministrado por una empresa de la zona interesada en el estudio.

Los factores de carga y pérdidas se calculan con la siguientes fórmulas:

$$f_C = \frac{\sum (P_i / P_m)}{24} = \frac{21,42}{24} = 0,89$$

$$f_P = \frac{\sum (P_i / P_m)^2}{24} = \frac{19,201}{24} = 0,80$$

Donde:

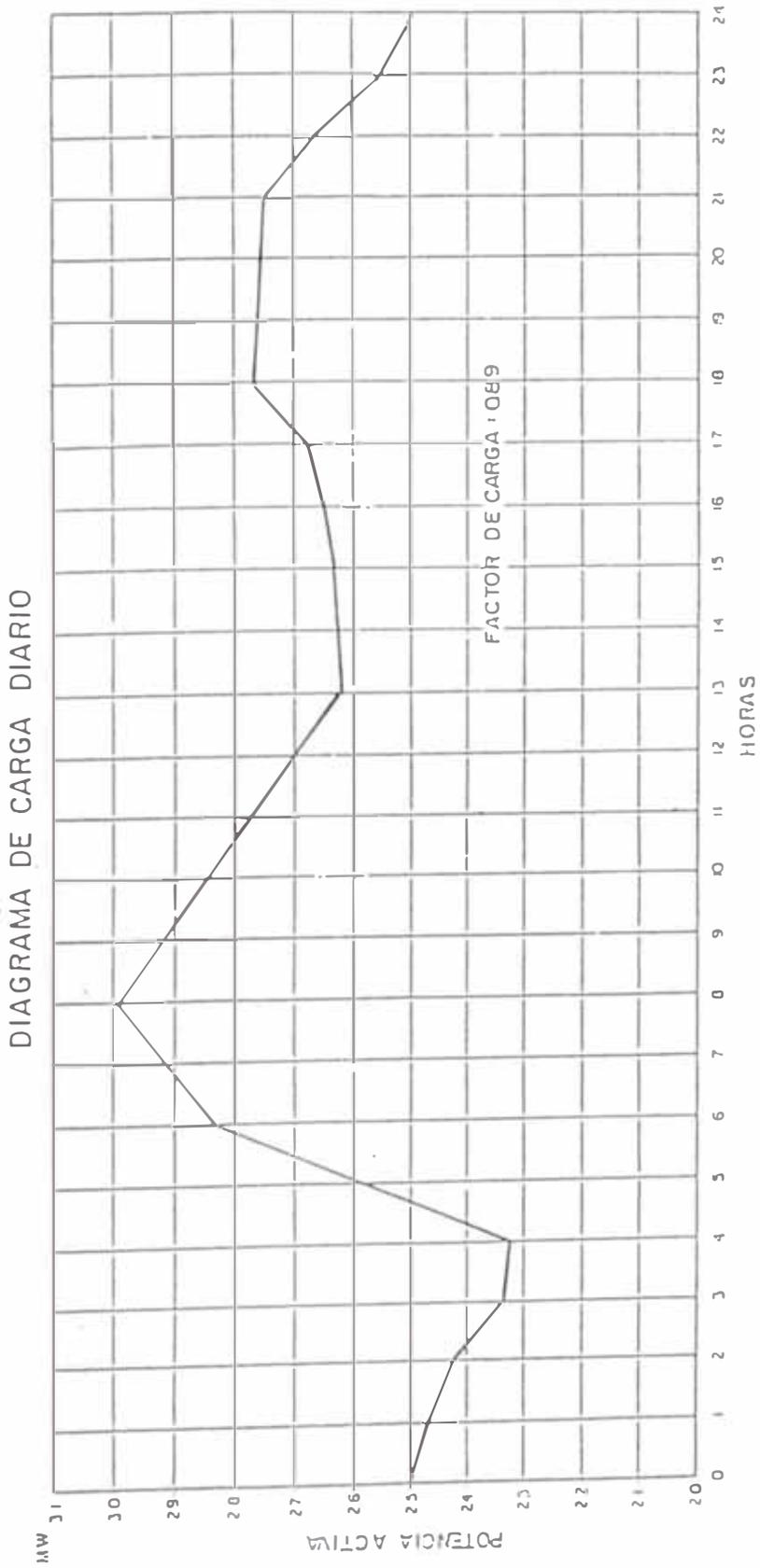
$P_i$ : Potencia Instantánea

$P_m$ : Máxima Demanda

En el siguiente cuadro se muestran los valores unitarios, para cada hora, de la potencia en kW y los parametros para el cálculo de los factores de carga y pérdidas. Estos valores son obtenidos del diagrama de carga.

Hora	P (kW)	(P/Pm)	(P/Pm) <sup>2</sup>
0	2 500	0,836	0,699
1	2 465	0,824	0,679
2	2 420	0,809	0,655
3	2 330	0,779	0,607
4	2 320	0,776	0,602
5	2 580	0,863	0,745
6	2 830	0,946	0,895
7	2 910	0,973	0,947
8	2 990	1,000	1,000
9	2 915	0,975	0,951
10	2 845	0,952	0,906
11	2 775	0,928	0,861
12	2 700	0,903	0,815
13	2 620	0,876	0,767
14	2 630	0,880	0,774
15	2 635	0,881	0,776
16	2 650	0,886	0,785
17	2 675	0,895	0,801
18	2 770	0,926	0,857
19	2 765	0,925	0,856
20	2 760	0,923	0,852
21	2 750	0,920	0,846
22	2 670	0,893	0,797
23	2 550	0,853	0,728

LAMINA 1



NOTA: Este diagrama de carga ha sido proporcionado por la cervecería Beckus B Johnson y corresponde a su planta del Rimac

## 2.2 Selección técnico económica del cable

### 2.2.1 Procedimiento

La selección de la sección técnico económica del cable subterráneo se efectúa mediante la optimización de la siguiente función objetivo.

$$f_o = [ \text{Costo del Cable y accesorios instalados} ] + [ \text{Costo actualizado de las pérdidas de potencia y energía producidos en el conductor, en el dieléctrico y en la pantalla metálica} ]$$

### 2.2.2 Características de los cables y accesorios

#### 2.2.2.1 Selección del conductor

Son cuatro los principales factores que deben ser considerados en la selección de los conductores:

- a) Material
- b) Flexibilidad
- c) Forma
- d) Dimensiones

#### a) Material

Los cables considerados en este análisis son de cobre; no se han tomado en cuenta los de aluminio en virtud de que las empresas de electricidad en Lima no lo utilizan.

En el cobre se distinguen tres temple o grados de suavidad del metal: suave ó recocado, semiduro y duro; con propiedades algo diferentes, siendo el cobre suave el de mayor conductibilidad eléctrica y el cobre duro el de mayor

resistencia a la tensión mecánica.

El cobre suave tiene las aplicaciones más generales ya que su uso se extiende a cualquier conductor, aislado o no, en el cual sea de primordial importancia la alta conductividad eléctrica y la flexibilidad.

En el siguiente cuadro se compara algunas de las características más importantes en conductores de cobre.

Temple	Conductividad % IACS *	Esfuerzo de tensión a la ruptura kgf/mm <sup>2</sup> **
Suave o Recocido	100	25,00
Semiduro	96,66	35,40 á 40,30
Duro	96,16	45, 60

\* IACS "International Annealed Copper Standard"  
Patrón internacional para cobre Recocido,  
igual al 100% de conductividad.

\*\* Tomado como ejemplo el calibre 10 mm<sup>2</sup>

#### b) Flexibilidad

La flexibilidad de un conductor se logra de dos maneras, recociendo el material para suavizarlo o aumentando el número de alambres que lo forman.

A la operación de reunir varios conductores se le denomina cableado y da lugar a diferentes flexibilidades de acuerdo con el número de alambres que lo forman, el paso o longitud del torcido de agrupación y el tipo de cuerda.

El grado de flexibilidad de un conductor, como función del número de alambres del mismo, se designa mediante letras que representan la clase de cableado.

No hay regla fija para decidir cual grado de flexibilidad es el más adecuado para una determinada aplicación ya que, con frecuencia, 2 o 3 clases de cableado pueden ser igualmente satisfactorias para cierto cable.

En la tabla siguiente se dan recomendaciones de carácter general, tomadas de las normas ASTM.

Clase	Aplicación
AA	Cable desnudo generalmente para líneas aéreas.
A	Cable aislado, tipo intemperie o cables desnudos que requieren mayor flexibilidad que la clase AA.
B	Cable aislado con materiales diversos tales como papel, hule, plástico, etc. o cables del tipo anterior que requerirán mayor flexibilidad.
C y D	Cables aislados que requieran mayor flexibilidad que la clase B.
G	Cables portátiles con aislamiento de hule para alimentación de aparatos o similares

Los cables de media tensión objeto de este estudio utilizan en su construcción conductores Clase B

### c) Forma

Las formas de conductores de uso más general en cables aislados de media tensión son:

- i. Redonda
- ii. Sectorial

Un conductor redondo es un alambre o cable cuya sección transversal es sustancialmente circular. Se utiliza tanto en cables monoconductores como en cables multiconductores con cualquier tipo de aislamiento. Los conductores de calibres

pequeños suelen ser alambres sólidos, mientras que los calibres mayores generalmente son cables.

Cuando los alambres son de mayor diámetro, el torcido de los mismos se efectúa generalmente en capas concéntricas alrededor de un núcleo central de uno o más alambres. El cable resultante, recibe el nombre de "cable concéntrico".

Este cable es el más usado, empleándose para las clases AA, A, B, C y D.

Con frecuencia es conveniente reducir el diámetro de un cable concéntrico (sobre todo en calibres grandes) para disminuir sus dimensiones y obtener una superficie cilíndrica uniforme lo cual representa ventajas eléctricas.

Esto puede lograrse comprimiendo el cable a través de un dado. El resultado es el "Cable Redondo Compacto".

Un conductor sectorial es un conductor formado por un cable cuya sección transversal es sustancialmente un sector de círculo. Se utilizan principalmente en cables de energía trifásicos, en calibres superiores a 35 mm<sup>2</sup>. En estos cables, los conductores sectoriales implican una reducción en la cantidad de rellenos y el diámetro sobre la reunión de las tres almas, permitiendo reducciones sustanciales en el plomo y revestimientos de protección.

Comparando los cables de conductores sectoriales, con los equivalentes de conductores redondos, encontramos que los primeros presentan las siguientes ventajas: Menor diámetro, menor peso y costo más bajo; pero tienen en cambio estas desventajas: Menor flexibilidad y mayor dificultad en la ejecución de las uniones.

#### d) Dimensiones

Las secciones consideradas para el análisis técnico son:  
 1 x 95 mm<sup>2</sup>, 1 x 120 mm<sup>2</sup>, 1 x 150 mm<sup>2</sup>,  
 1 x 185 mm<sup>2</sup>; 1 x 240 mm<sup>2</sup>, 1 x 300 mm<sup>2</sup>

En el Apéndice "A" se muestran los catálogos proporcionados por diversos fabricantes.

#### 2.2.2.2 Selección del aislamiento

La función del aislamiento es confinar la corriente eléctrica en el conductor y contener el campo eléctrico dentro de su masa. En principio, las propiedades de los aislamientos son con frecuencia más que adecuadas para su aplicación, pero los efectos de la operación, medio ambiente, envejecimiento, etc. pueden degradar el aislamiento rápidamente hasta el punto en que llegan a fallar por lo que es importante seleccionar el más adecuado.

Los aislamientos se dividen en dos grupos principales: De papel impregnado, actualmente en desuso para el nivel de tensión en estudio y Aislamientos de tipo seco, con compuestos cuya resina base se obtiene de la polimerización de determinados hidrocarburos.

Según su respuesta al calor se clasifican en:

Termoplásticos: Con aislamiento de polietileno termoplástico  
 Termofijos Con aislamiento de polietileno reticulado.

En el Apéndice "B" se muestra una comparación entre cables secos de media tensión con aislamiento de polietileno reticulado vs. polietileno termoplástico, en el cual se concluye que el mas ventajoso para este proyecto es el aislamiento de polietileno reticulado (XLPE).

### 2.2.2.3 Selección de las pantallas eléctricas

Se aplican las pantallas eléctricas en los cables de energía con el fin de confinar en forma adecuada el campo eléctrico a la masa de aislamiento del cable.

Las pantallas usadas en el diseño de los cables de energía tienen diferentes funciones.

Dependiendo del material y su localización, son:

Pantalla semiconductor sobre el conductor

Pantalla sobre el aislamiento

La pantalla semiconductor sobre el conductor es a base de cintas o extruída de material compatible con el aislamiento. La función base de esta pantalla es la de evitar la concentración de esfuerzos eléctricos que se presentan en los intersticios de un conductor cableado, a consecuencia de la forma de los hilos.

Las funciones de las pantallas sobre el aislamiento son:

- a) Crear una distribución radial y simétrica de los esfuerzos eléctricos en la dirección de máxima resistencia del aislamiento.
- b) Proveer al cable de una capacitancia a tierra uniforme
- c) Reducir el peligro de descargas eléctricas al personal o en presencia de productos inflamables.

Las pantallas sobre el aislamiento se subdividen en:

Pantalla semiconductor y

Pantalla metálica

La pantalla semiconductor sobre el aislamiento se encuentra en contacto inmediato con éste. Está formada por un material semiconductor compatible con el material del

aislamiento. Esta pantalla asegura el contacto íntimo con el aislamiento, aún en el caso de movimiento de la pantalla metálica. Pueden estar constituidas por una capa de material termoplástico o termofijo semiconductor, o bien, por cinta semiconductor y/o barniz semiconductor.

La pantalla metálica sobre el aislamiento puede constar de cinta de cobre recocido o de alambres del mismo material, o una combinación de ambos.

#### **Conexión a tierra y terminación de las pantallas**

En todas las terminaciones de los cables se deben remover completamente las pantallas y sustituir por un cono de alivio de esfuerzos adecuado. Si las pantallas no se retiran, se presentarán arqueos superficiales del conductor a los puntos de menor potencia, carbonización a lo largo de la pantalla y deterioro del aislamiento.

El cono de alivio es importante ya que siempre se forma al final de la pantalla aterrizada un área de esfuerzos concentrados.

La pantalla metálica debe operar todo el tiempo, cerca ó al potencia de tierra. La pantalla que no tiene la conexión adecuada a tierra es más peligrosa, desde el punto de vista de seguridad, que el cable sin pantalla. Además del peligro para el personal, una pantalla "flotante" puede ocasionar daños al cable. Si el potencial de dicha pantalla es tal que perfore la cubierta, la descarga resultante producirá calor y quemaduras al cable.

Las pantallas deben conectarse a tierra preferentemente, en dos o más puntos. En caso de que se conecten en un sólo

punto, se deberán tomar precauciones especiales.

En el Apéndice "C" se muestra el cálculo de la tensión inducida en una pantalla metálica con un extremo no conectado a tierra, para los cables de secciones indicadas.

Se recomienda aterrizar la pantalla en ambos terminales y en todos los empalmes. La mayor frecuencia de conexiones a tierra reduce la posibilidad de secciones de pantalla "flotantes" y aumenta la probabilidad de una adecuada conexión a tierra de todo el cable instalado.

#### **2.2.2.4 Selección de las cubiertas**

La función primordial de las cubiertas en sus diferentes combinaciones es la de proteger al cable de los agentes externos del medio ambiente que lo rodea, tanto en operación, como en la instalación.

La Selección del material de la cubierta de un cable depende de su aplicación y de la naturaleza de los agentes externos contra las cuales se desea proteger al cable. Las cubiertas pueden ser principalmente de los siguientes materiales: termoplásticas (PVC polietileno de alta y baja densidad) ó Elastoméricas (Neopreno y el Hypalon)

En el Apéndice "D" se muestran las propiedades de las cubiertas.

#### **2.2.2.5 Conclusión**

Según lo expuesto anteriormente y lo recomendado por los fabricantes en las Láminas 2 y 3 se determina que el cable sea unipolar y el conductor de cobre electrolítico recocido, cableado concéntrico compacto.

El aislamiento será de polietileno reticulado extruído (XLPE).

Las pantallas sobre el conductor y sobre el aislamiento será una capa de compuesto semiconductor extruído y la pantalla metálica estará compuesta de cinta de cobre recocido ó de alambres del mismo material, o una combinación de ambos y sobre esta pantalla se aplicará una capa de tejido plastificado.

La cubierta exterior será de cloruro de polivinilo (PVC).

Las características preliminares de la instalación y que servirán como base para los cálculos son las siguientes:

Tipo de instalación	· Directamente enterrado
Profundidad de instalación	: 1,50 m
Disposición	: Horizontal
Número de cables por zanja	: 3
Separación entre cables exterior del cable	Mínimo 2 veces el diámetro

### **2.2.3 Costo del cable y accesorios**

Los precios de los cables y sus accesorios tomados como base han sido los proporcionados por los fabricantes: NOKIA CABLES de Finlandia, PIRELLI de Argentina y SHOWA ELECTRICA WIRE AND CABLES de Japón.

A continuación se muestra los costos unitarios instalados donde para tomar en cuenta los costos de instalación se ha realizado un análisis de precios unitarios mostrados en Apéndice "E".

Sección mm <sup>2</sup>	Costo unitario del cable instalado US\$/m
95	101,69
120	105,15
150	111,76
185	122,30
240	138,12
300	152,08

Accesorio	Costo unitario instalado (US\$)
Terminal	9 520,98
Empalme	4 392,80

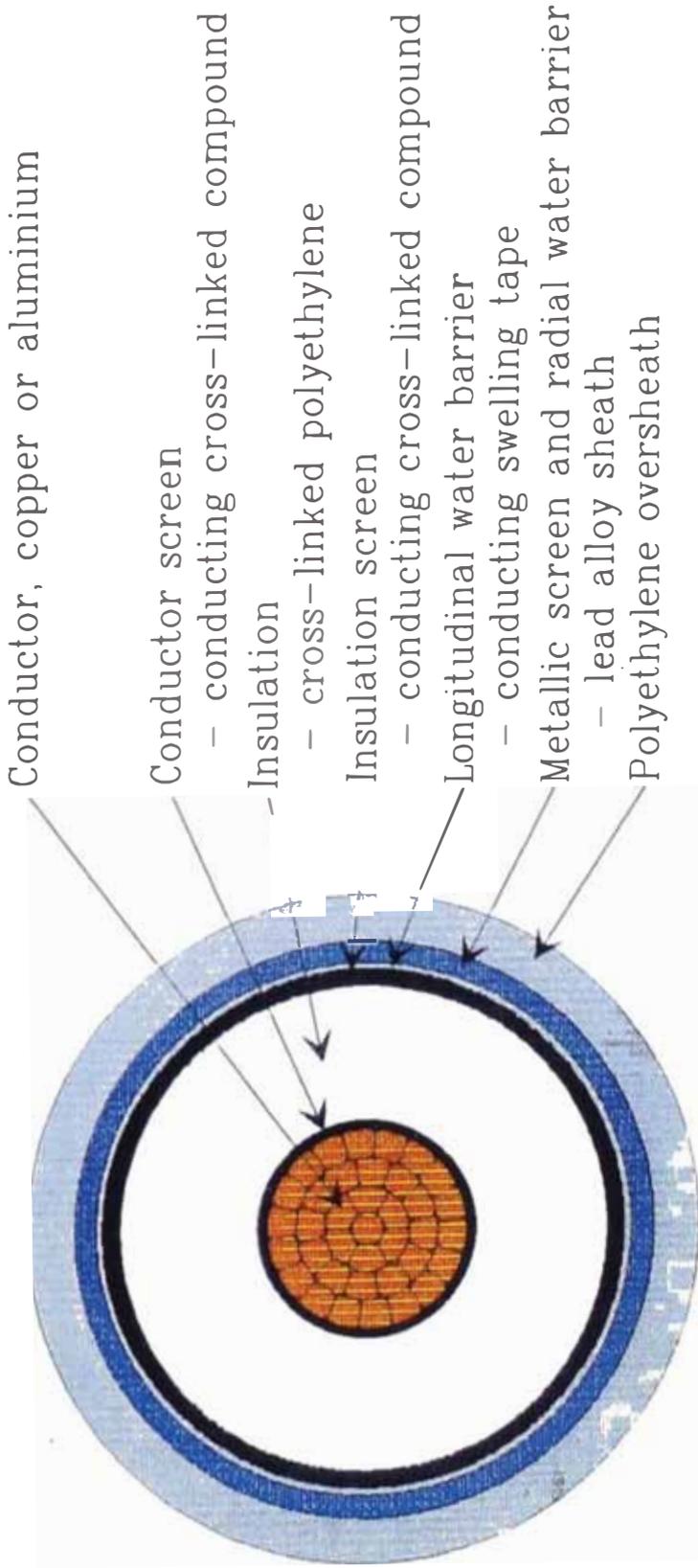
Y en el siguiente cuadro se resumen los costos totales del cable subterráneo y accesorios instalados para los 3 200 m de línea donde se ha considerado un gasto promedio de supervisión especializado de US\$ 3,000 según recomendación de los fabricantes.

Sección mm <sup>2</sup>	Costo Total de línea instalado US\$
95	1 089 101
120	1 122 287
150	1 185 735
185	1 286 889
240	1 438 771
300	1 572 786

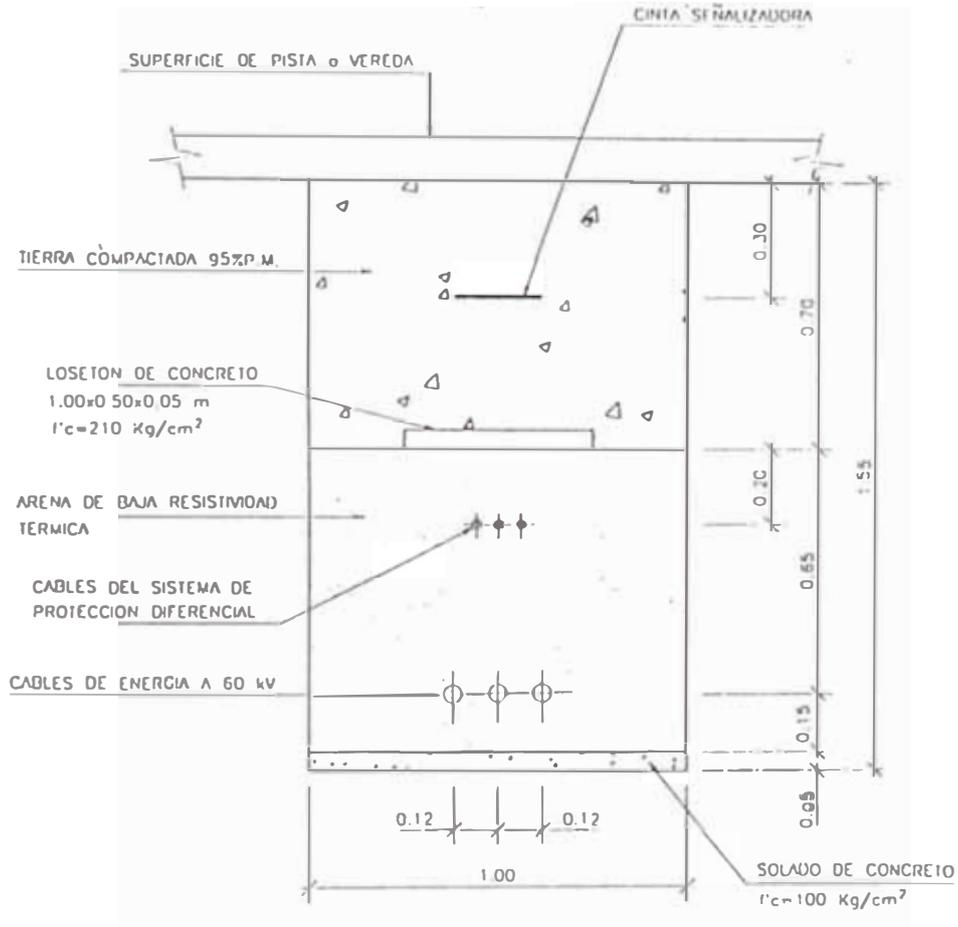
Estos costos incluyen la instalación de 6 terminales y 12 empalmes, pero no incluyen suministro complementario para la protección, obras civiles, gastos generales y utilidades del contratista ni impuestos.

# CABLE TYPES HXLMK AND AHXLMK

## LAMINA 3



# LAMINA 4



DETALLE TIPICO DE INSTALACION DE CABLE  
SUBTERRANEO A 60 kV

ESCALA 1.200

## 2.2.4 Selección de la sección del conductor por capacidad de transporte de corriente

### 2.2.4.1 Bases de calculo

Tensión nominal de la red	60	kV
Tensión máxima de servicio	66	kV
Temperatura ambiente promedio	20	°C
Tipo de instalación:	Directamente enterrado	
Potencia a Transportar (año 2 020)	18	MW
Factor de potencia de carga	0,90	
Corriente nominal	193	A
Factor de carga	0,89	
Resistividad térmica del terreno	150°C-cm/w	
Temperatura del terreno	25	
Tipo de aislamiento del cable	XLPE	
Profundidad de instalación	1,50 m	
Número de cables por zanja	3	

### 2.2.4.2 Disposición de cables en la zanja

(Ver lámina N° 4 y Plano N° 9203-200-006)

### 2.2.4.3 Capacidad de transporte de corriente para cables Unipolares

Según catálogos de los fabricantes la capacidad promedio de los cables unipolares de 35/60 kV, con pantalla conectada a tierra, en ambos extremos, es la que se muestra en el TABLA 1

**Tabla 1: Capacidad de transporte de corriente para cables unipolares con aislamiento XLPE**

Sección (mm <sup>2</sup> )	Corriente (A)
95	330
120	360
150	395
185	430
240	450
300	475

Las condiciones en las cuales pueden transportarse las corrientes de la tabla anterior son las siguientes:

Temperatura en el conductor	80 °C
Resistividad térmica del terreno	120 °C-cm/W
Temperatura del terreno	25 °C
Profundidad de instalación de los cables	1,0 m
Corriente circulante en la pantalla	Si

#### 2.2.4.4 Factores de corrección

En vista que los cables se instalarán bajo condiciones diferentes a las señaladas, se corregirá la capacidad de transporte de corriente de éstos.

**Factor de corrección por incremento de profundidad: f1**

La TABLA 2 muestra los factores de corrección por incremento de profundidad.

Tabla 2: Factor de corrección por incremento de profundidad (f1)

Profundidad de la Instalación	Cables directamente enterrados	
	5 kV a 23 kV	35 kV a 60 kV
0,90	1,00	--
1,00	0,99	--
1,20	0,98	1,00
1,50	0,97	0,99
1,80	0,96	0,98
2,50	0,95	0,96

Como la profundidad para este proyecto es 1,50 m , entonces el factor de corrección f1 es :

$$f1 = 0,99$$

Factor de corrección por variación de resistividad térmica del terreno: f2

La TABLA 3 muestra los factores de corrección por variación de la resistividad térmica del terreno para cables unipolares directamente enterrados.

Como la resistividad térmica para este proyecto es 150°C-cm/W , entonces el factor de corrección f2 es:

$$f2 = 0,91$$

Factor de corrección total

El factor de corrección total es el producto de los factores de corrección anteriores:

$$f_t = f_1 \times f_2$$

$$f_t = 0,99 \times 0,91 = 0,9009$$

Tabla 3: Factor de corrección por variación de resistividad térmica del terreno  $f_2$

Sección (mm <sup>2</sup> )	Resistividad Térmica del Terreno					
	60	90	120	150	180	240
16	1,27	1,11	1,00	0,91	0,85	0,75
70	1,31	1,13	1,00	0,91	0,84	0,74
150	1,32	1,13	1,00	0,91	0,84	0,74
240	1,33	1,13	1,00	0,91	0,84	0,73
300	1,34	1,14	1,00	0,91	0,83	0,73
500	1,35	1,14	1,00	0,90	0,83	0,72

#### 2.2.4.5 Capacidad de transporte de corriente tomando en cuenta los factores de corrección

La TABLA 4 muestra la capacidad de corriente de los cables de energía considerando los factores de corrección, y serán estos valores los que intervengan en los cálculos posteriores.

Tabla 4: Capacidad de corriente considerando los factores de corrección

Sección (mm <sup>2</sup> )	Corriente (A)
95	297
120	324
150	356
185	387
240	405
300	428

#### 2.2.4.6 Sección Mínima de cable requerido

La corriente máxima que se requiere al final del horizonte del estudio, es de 193 A y según la tabla anterior el cable de sección 95 mm<sup>2</sup> es suficiente desde el punto de vista de capacidad de transporte de corriente

#### 2.2.4.7 Incremento de la capacidad de corriente de un cable en un período de sobrecarga

Las normas para cables admiten la posibilidad de sobrecargarlos durante un tiempo limitado en una emergencia. La temperatura máxima de emergencia que recomiendan para el tipo XLPE es de 130 °C

La expresión siguiente permite obtener en forma aproximada el incremento permitido de la capacidad de corriente de un cable, y proviene de igualar el calor generado en el conductor con el calor disipado a través de los elementos que forman el cable:

$$I_{sc} = I \sqrt{\frac{\left(\frac{R}{R_0}\right) (T_0 - T_a)}{(T_c - T_a)}}$$

donde:

$I_n$  ; Corriente permisible por el cable

$I_{sc}$  ; Corriente de sobrecarga por el cable (máximo 2 horas)

$T_0$  : Temperatura máxima de emergencia del cable (130°C)

$T_c$  : Temperatura máxima de operación del conductor (90°C)

Ta : Temperatura ambiente (20°C)

R Resistencia del conductor a la temperatura Tc

Ro : Resistencia del conductor a la temperatura To

La TABLA 5 muestra las capacidades de corriente por sobrecarga de los cables unipolares.

Tabla 5: Capacidad de corriente por sobrecarga en cables unipolares con aislamiento XLPE

Sección (mm <sup>2</sup> )	Corriente Nominal (A)	Corriente con Sobrecarga (A)
95	297	351
120	324	383
150	356	421
185	387	458
240	405	479
300	428	506

## 2.2.5 Selección de la sección del conductor por caída de tensión

### 2.2.5.1 Determinación de los parámetros de los cables

#### a) Resistencia eléctrica

Se asume que la temperatura en el conductor del cable no superará los 80°C, luego la resistencia eléctrica se calculará a esta temperatura mediante la siguiente fórmula:

$$R_c = R_a ( 1 + k (T_c - T_a) )$$

Donde :

$R_c$	=	Resistencia a la temperatura de 80 °C
$R_a$	=	Resistencia a la temperatura de 20 °C
$k$	=	Factor de temperatura del Cu = 0,00393
$T_c$	=	Temperatura máxima de operación
$T_a$	=	Temperatura base de 20 °C

En la TABLA 6 se muestran los valores de resistencia a 20°C y 80°C.

**Tabla 6: Valores de resistencia en cables unipolares con aislamiento XLPE**

Sección (mm <sup>2</sup> )	R 20°C (Ohm/km)	R 80°C (Ohm/km)
95	0,195	0,241
120	0,154	0,190
150	0,126	0,156
185	0,100	0,124
240	0,076	0,094
300	0,061	0,075

#### b) Reactancia inductiva

Se calcula la reactancia inductiva con la siguiente expresión:

$$X_l = 2\pi f L \quad (\Omega/km)$$

Donde :

$$L = 2 \times 10^{-4} \times \ln\left(\frac{DMG}{RMG}\right)$$

$$DMG = \sqrt[3]{2 S}$$

$$RMG = 0,77 r$$

DMG = Diámetro medio geométrico

RMG = Radio medio geométrico

S = Separación entre conductores = 120 mm

r = radio del conductor

En la TABLA 7 se muestran los valores de reactancia inductiva para las secciones analizadas

**Tabla 7: Valores de reactancia inductiva para cables unipolares con aislamiento XLPE**

Sección (mm <sup>2</sup> )	Diámetro (mm)	Reactancia (Ohm/km)
95	12,50	0,26
120	14,00	0,25
150	15,70	0,24
185	17,50	0,23
240	20,20	0,22
300	22,50	0,21

### c) Resistencia y reactancia aparentes

Con la finalidad de tomar en cuenta los efectos de las corrientes que circulan en la pantalla se considera un cable imaginario sin pantalla, cuya resistencia y reactancia sean

equivalentes a las que presenta un cable real.

El valor final de la resistencia aparente se obtiene al sumar la resistencia efectiva ya determinada, con un término que incluye los efectos de la corriente inducida en la pantalla. De igual forma la reactancia aparente se obtiene al restar, a la reactancia ya determinada, un término similar de naturaleza inductiva.

Para una disposición horizontal de conductores la expresión matemática para los parámetros aparentes son:

$$R_A = R_c + \frac{(R_p X_m^2)}{R_p^2 + X_m^2}$$

$$X_{1A} = X_1 - \frac{X_m^3}{R_p^2 + X_m^2}$$

Donde:

$$X_m = 0,0754 \operatorname{Ln}\left(2,52 \frac{S}{d_m}\right)$$

$$R_p = \frac{11,06}{d_p t}$$

$R_c$  - resistencia a la temperatura máxima de operación

$X_m$  - reactancia mutua en ohm/km

$d_m$  - diámetro medio de la pantalla (mm)

$d_p$  - diámetro del aislamiento (mm)

$S$  - distancia entre los cables unipolares

$R_p$  - resistencia de la pantalla a 20°C, en ohm/km

$t$  - espesor de la pantalla (mm)

En la TABLA 8 se muestran los parámetros aparentes con los cuales se ejecutarán los cálculos de caída de tensión.

Tabla 8: Valores de los parámetros aparentes.

Sección (mm <sup>2</sup> )	Rp 20°C (Ohm/ km)	Rp 70°C (Ohm/ km)	R <sub>A</sub> (Ohm/ km)	Xm (Ohm/ km)	X <sub>1A</sub> (Ohm/ km)
95	0,423	0,506	0,279	0,145	0,249
120	0,410	0,491	0,228	0,142	0,239
150	0,400	0,479	0,194	0,140	0,229
185	0,385	0,461	0,161	0,137	0,219
240	0,364	0,436	0,130	0,130	0,209
300	0,348	0,416	0,112	0,130	0,198

### 2.2.5.2 Cálculos de caída de tensión

Las premisas de cálculo son las siguientes:

Longitud del circuito (km)	3,2
Demanda de Potencia (MW)	18
Factor de Potencia	0,9
Tensión nominal (kV)	60

La fórmula a utilizar es la siguiente:

$$\Delta V\% = \frac{P L}{10 (kV)^2} (R_A + X_{1A} \operatorname{tg}\phi)$$

$$\text{Si } K = \frac{(R_A + X_{1A} \operatorname{tg}\phi)}{10 (kV)^2}$$

Entonces:

$$\Delta V\% = PLK$$

Donde:

$K$  = Factor de caída de tensión

En la TABLA 9 se muestra las caídas de tensión para cada sección de cable.

Tabla 9: Caídas de tensión para cada cable unipolar.

Sección (mm <sup>2</sup> )	Potencia (kW)	Longitud (km)	Factor $K \times 10^{-5}$	Caída de Tensión (%)
95	18 000	3,20	1,110	0,64
120	18 000	3,20	0,955	0,55
150	18 000	3,20	0,847	0,49
185	18 000	3,20	0,742	0,43
240	18 000	3,20	0,642	0,37
300	18 000	3,20	0,577	0,33

Los resultados muestran caídas de tensión sumamente bajas para todas las secciones analizadas por lo que el cable de 95 mm<sup>2</sup> es suficiente desde el punto de vista de caída de tensión.

## 2.2.6 Selección de la sección del conductor por capacidad térmica de cortocircuitos

### 2.2.6.1 Objeto

El dimensionamiento térmico de cables por cortocircuito tiene por objeto determinar las mínimas secciones que éstos deben tener para soportar, por tiempos muy breves, el calor generado por el paso de una corriente de cortocircuito.

### 2.2.6.2 Premisas

Las premisas para el cálculo son los siguientes:

Potencia de cortocircuito	2 000 MVA	(año 2 020)
Tensión nominal de la red	: 60	kV
Tiempo total de eliminación de la falla	0,50	s
Temperatura máxima de operación para cables con aislamiento XLPE	: 90	°C
Temperatura máxima de cortocircuito para cables con aislamiento XLPE	: 250	°C

### 2.2.6.3 Definiciones

Si la sección del conductor no es la adecuada para soportar las condiciones de cortocircuito, el intenso calor generado en tan poco tiempo produce daño severo en forma permanente en el aislamiento los cuales ocasionan serios problemas de ionización.

La ecuación siguiente permite verificar la sección del conductor, conocidos la potencia de cortocircuito y la duración de la falla.

$$\left[\frac{I}{A}\right]^2 t = k \log\left(\frac{T_2 + T}{T_1 + T}\right)$$

Donde:

I - Corriente máxima de cortocircuito permitida (kA)

k - Constante que depende del material del conductor

$$\text{Cu} \Rightarrow k = 0,0297$$

$$\text{Al} \Rightarrow k = 0,0125$$

A = Sección del conductor en Circular Mil

t = Tiempo máximo de duración de la falla

T = Temperatura en °C en la cual el material del que se trate tiene resistencia eléctrica teóricamente nula

$$\text{Siendo: Para el Cu} \Rightarrow T = 234,50 \text{ °C}$$

$$\text{Para el Al} \Rightarrow T = 228,00 \text{ °C}$$

T<sub>1</sub> = Temperatura máxima de operación (°C)

T<sub>2</sub> = Temperatura máxima de cortocircuito (°C)

Esta ecuación esta basada en la premisa de que, debido a la cantidad de metal concentrado y la duración tan corta de la falla, el calor permanece en el metal formando un sistema adiabático.

Esta ecuación es utilizada principalmente por los fabricantes de cables y lo muestran en sus catálogos.

En forma simplificada se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$I = 141,89 \frac{A}{\sqrt{t}} \quad A \text{ en } mm^2$$

#### 2.2.6.4 Resultados

Tabulando para las diferentes secciones en estudio y además para diferentes tiempos de eliminación de la falla, tenemos:

Sección mm <sub>2</sub>	Corriente de Cortocircuito Admisible (A)		
	t = 0,2 s	t = 0,5 s	t = 1 s
95	30 141	19 063	13 480
120	38 073	24 079	17 027
150	47 591	30 099	21 284
185	58 696	37 122	26 249
240	76 146	48 159	31 053
300	95 182	60 196	42 567

#### 2.2.6.5 Conclusión

Como la corriente de cortocircuito es 19 245 A vemos que para t = 1 s el cable 150 mm<sup>2</sup> sería el adecuado, pero como t = 0,5 s entonces es necesario utilizar el cable 120 mm<sup>2</sup>. Observemos que si el tiempo de eliminación de la falla fuese menor (t = 0,2 s), podría utilizarse el cable 95 mm<sup>2</sup>.

#### 2.2.7 Pérdidas de potencia y energía en cables

##### 2.2.7.1 Premisas

Parte de las pérdidas que tienen lugar en los sistemas eléctricos se deben a la conversión de energía eléctrica a energía calorífica que se efectúa en los cables aislados.

Las pérdidas en forma de calor se producen en tres elementos del cable:

En el Conductor

En el Aislamiento

En la Pantalla Metálica

### 2.2.7.2 Pérdidas de potencia en el conductor

Las pérdidas de potencia en el Conductor están dadas por la siguiente expresión:

$$\Delta P_1 = \frac{R L MD^2}{(kV \cos\phi)^2} 10^{-3} \text{ kW}$$

Donde:

$\Delta P_1$  = Pérdidas de potencia del conductor en kW

MD = Máxima Demanda en kW

R = Resistencia del conductor a la temperatura de operación, en ohm/km

L = Longitud del circuito, en km

kV = Tensión nominal del sistema, en kV

$\cos \phi$  = Factor de potencia

### 2.2.7.3 Pérdidas de energía en el conductor

Las pérdidas de energía en el Conductor están dadas por la fórmula siguiente:

$$\Delta E_1 = \Delta P_1 h fp \text{ kWh}$$

Donde:

h = 8 760

fp = Factor de pérdidas

#### 2.2.7.4 Pérdidas de potencia en el dieléctrico

Las pérdidas en el dieléctrico del cable están dadas por la fórmula siguiente:

$$\Delta P_2 = 2 \Pi f (N) (C) (E_o)^2 (\tan\delta) L 10^{-3} \text{ kW}$$

Donde:

- $f$  = frecuencia de la red: 60 Hz  
 $N$  = N° de cables unipolares  
 $C$  = Capacidad del cable, en F/km  
 $E_o$  = Tensión fase-tierra, en V  
 $\tan\delta$  = factor de pérdida del aislamiento

La capacidad del cable se calcula con la siguiente expresión:

$$C = 0,0241 \frac{\epsilon_r}{\log\left(\frac{D_a}{D_c}\right)} 10^{-6} \frac{F}{km}$$

Para el presente proyecto se tiene:

material del aislamiento:	XLPE
constante dieléctrica ( $\epsilon_r$ ):	4
factor de pérdidas del aislamiento	0,001
tensión fase-tierra ( $E_o$ )	34 641
N° de cables unipolares	3

Para las características señaladas, la fórmula de las pérdidas de potencia se reduce a la siguiente expresión:

$$\Delta P_2 = 0,131 \frac{L}{\log\left(\frac{D_a}{D_c}\right)} \text{ kW}$$

Donde:

$D_a$  = Diámetro del aislamiento, en mm

$D_c$  = Diámetro del conductor, en mm

$L$  = longitud del circuito, en km

#### 2.2.7.5 Pérdidas de energía en el dieléctrico

Las pérdidas de energía en el dieléctrico son independientes de la demanda de potencia y solo dependen de la tensión, en tal virtud la fórmula para su cálculo es:

$$\Delta E_2 = \Delta P_2 h$$

Donde:  $h = 8\ 760$

#### 2.2.7.6 Pérdidas de potencia en la pantalla

Las pérdidas de potencia como consecuencia de la corriente inducida en la pantalla metálica, están expresadas mediante la fórmula siguiente:

$$\Delta P_3 = 3 I_p^2 R_{p1} L 10^{-3} \text{ kW}$$

Donde:

$\Delta P_3$  = Pérdidas de potencia en la pantalla metálica en kW

$I_p$  = Corriente que circula por la pantalla

$R_{p1}$  = Resistencia de la pantalla a la temperatura de operación, en ohm/km

L = Longitud del circuito, en km

Nota: La temperatura de operación de la pantalla es 10° menor que la del conductor principal

La corriente que circula por la pantalla se calcula con la siguiente expresión:

$$I_{p1}^2 = I^2 \frac{X_m^2}{(X_m^2 + R_{p1}^2)}$$

Donde:

I = Corriente por el conductor

$X_m$  = reactancia mutua entre el conductor y la pantalla

Para disposición horizontal de los cables unipolares la reactancia mutua tiene la siguiente expresión:

$$X_m = 0,0754 \ln(2,52 \frac{S}{d_m})$$

Para el calculo de  $R_{p1}$ :

$$R_{p1} = R_{p0} (1 + 0,00393 (T_0 - 30^\circ))$$

$$R_{p0} = 5,53 \frac{k}{d_m t}$$

Donde:

$R_{p0}$  = Resistencia de la pantalla a 30°C

$T_0$  = temperatura de operación del conductor

S = Distancia entre cables unipolares

- dm = Diámetro medio de la pantalla metálica en mm
- k = factor para incrementar la resistencia debido al contacto en el traslape (k=1 nuevos, k=2 en servicio)
- t = espesor de la pantalla, en mm

La nueva expresión para las pérdidas de potencia en la pantalla es:

$$\Delta P_3 = \frac{MD^2 X_m^2 R_{p1} L}{(kV \cos\phi)^2 (X_m^2 + R_{p1}^2)} 10^{-3} \text{ kW}$$

#### 2.2.7.7 Pérdidas de energía en la pantalla

Las pérdidas de energía en la pantalla metálica del cable se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta E_3 = \Delta P_3 h fp$$

Donde:

- fp = Factor de pérdidas

#### 2.2.7.8 Datos generales para los cálculos

Longitud del circuito	:	3,20 km
Tensión nominal del sistema	:	60 kV
Tensión nominal del cable	:	35/60 kV
Factor de potencia $\cos\phi$	:	0,90
Factor de carga	:	0,89
Factor de pérdidas	:	0,80

Frecuencia de la red	60	Hz
Número de cables unipolares	:	3
Material del aislamiento		XLPE
Temperatura de operación del cable	50	°C

#### 2.2.7.9 Datos particulares de cada cable unipolar 35/60 kV

En la TABLA 10 se muestran los datos particulares de los cables para todas las secciones en estudio.

#### 2.2.7.10 Desarrollo de cálculos para un cable típico XLPE 1 x 120 mm<sup>2</sup>, año 1 995

Datos:

Sección del cable	1 x 120 mm <sup>2</sup>
Aislamiento	XLPE
Tensión nominal (Eo/E)	35/60 kV
Diámetro del conductor	14 mm
Espesor del aislamiento	15,2 mm
Diámetro del aislamiento	44,90 mm
Espesor de la pantalla	0,6 mm promedio
Demanda de potencia	5 500 kW
Factor de pérdida	0,80
Factor de potencia	0,90
Temperatura de operación del Cable	50 °C
Resistencia del Conductor a 20°C	0,154 ohm/km

**Tabla 10:** Características constructivas de los cables unipolares con aislamiento seco (XLPE).

Sección (mm <sup>2</sup> )	Número de hilos	Diámetro Conductor (mm)	Resistencia 20°C (Ohm/km)	Espesor del Aislamiento (mm)	Diámetro Aislamiento (mm)	Espesor Pantalla (mm)
1 x 95	19	12,50	0,195	15,20	42,90	0,60
1 x 120	37	14,00	0,154	15,20	44,90	0,60
1 x 150	37	15,70	0,126	15,20	46,10	0,60
1 x 185	37	17,50	0,100	15,20	47,90	0,60
1 x 240	37	20,20	0,0762	15,20	52,60	0,60
1 x 300	61	22,50	0,0607	15,20	52,90	0,60

## a) Pérdidas de potencia en el conductor del cable

Resistencia del Conductor a la temperatura de Operación:

$$R = 0,154 (1 + 0,00393 (50 - 20)) = 0,172 \frac{\Omega}{km}$$

Pérdidas de potencia  $\Delta P_1$ 

$$\Delta P_1 = \frac{(5500)^2 (0,0172) 3,20}{(60^2) (0,9^2) 10^3} = 5,71 \text{ kW}$$

## b) Pérdidas de energía en el conductor del cable

$$\hat{E}_1 = 5,71 (8760) (0,80) = 40050,28 \text{ kWh}$$

## c) Pérdidas de potencia en el dieléctrico del cable

Capacidad del cable:

$$C = \frac{0,241 (4) 10^{-6}}{\log\left(\frac{44,90}{14}\right)} = 0,1905 10^{-6} \frac{F}{km}$$

Pérdidas de potencia  $\Delta P_2$ 

$$\hat{P}_2 = 377 (0,0195 10^{-6}) (34641^2) (0,001) (3) (3,20) 10^{-3}$$

$$\hat{P}_2 = 0,83 \text{ kW}$$

## d) Pérdidas de energía en el dieléctrico del cable

$$\hat{E}_2 = 0,83 (8760) = 7247,57 \text{ kWh}$$

## e) Pérdidas de potencia en la pantalla metálica

$$X_m = 0,0754 \ln\left(2,52 \frac{120}{44,90}\right) = 0,1438 \frac{\Omega}{km}$$

$$R_{po} = \frac{5,53 (2)}{(44,90) 0,5} = 0,4926 \frac{\Omega}{km}$$

$$R_{pl} = 0,4926 (1+0,00393 (50-30)) = 0,5507 \frac{\Omega}{km}$$

$$\hat{\Delta}P_3 = \frac{(5\ 500)^2 (0,1438)^2 (0,5507) (3,2)}{(60)^2 (0,9)^2 (0,1438^2 + 0,5507^2)} 10^{-3}$$

$$\hat{\Delta}P_3 = 1,17 \text{ kW}$$

## f) Pérdidas de energía en la pantalla metálica

$$\hat{\Delta}E_3 = 1,1669 (8\ 760) (0,80) = 8\ 177,83 \text{ kWh}$$

## g) Pérdidas totales de potencia

$$\hat{\Delta}P_T = \hat{\Delta}P_1 + \hat{\Delta}P_2 + \hat{\Delta}P_3$$

$$\hat{\Delta}P_T = 5,71 + 0,83 + 1,17$$

$$\hat{\Delta}P_T = 7,71 \text{ kW}$$

## h) Pérdidas totales de energía

$$\hat{\Delta}E_T = \hat{\Delta}E_1 + \hat{\Delta}E_2 + \hat{\Delta}E_3$$

$$\hat{\Delta}E_T = 40\ 050,28 + 7\ 247,57 + 8\ 177,83$$

$$\hat{\Delta}E_T = 55\ 475,68 \text{ kWh}$$

En los Cuadros N° 2.7.1 al 2.7.6 se muestran los cálculos de pérdidas de potencia y energía para el horizonte de estudio y para las secciones de cables comprendidas entre 95 mm<sup>2</sup> y 300 mm<sup>2</sup>

Cuadro No 2.7 1

## PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA EN CABLES UNIPOLARES

## DATOS:

Sección del Conductor	:	95 mm <sup>2</sup>
Temperatura de Operación	:	50 °C
Resistencia del conductor		
a la temperatura de operación	:	0,218 Ohm/km
Capacitancia del cable	:	0,180 uF/km
Resistencia de la pantalla a		
la temperatura de 30 °C	:	0,516 Ohm/km
la temperatura de operación	:	0,556 Ohm/km
Reactancia mutua entre el conductor		
y la pantalla metálica	:	0,147 Ohm/km

AÑO	EN EL CONDUCTOR		EN EL DIELECTRICO		EN LA PANTALLA		PERDIDAS TOTALES	
	kW	MWh	kW	MWh	kW	MWh	kW	MWh
1 996	7,24	50,71	0,78	6,85	1,21	8,48	9,23	66,04
1 997	7,24	50,71	0,78	6,85	1,21	8,48	9,23	66,04
1 998	7,24	50,71	0,78	6,85	1,21	8,48	9,23	66,04
1 999	10,11	70,83	0,78	6,85	1,69	11,84	12,58	89,52
2 000	10,11	70,83	0,78	6,85	1,69	11,84	12,58	89,52
2 001	10,11	70,83	0,78	6,85	1,69	11,84	12,58	89,52
2 002	10,11	70,83	0,78	6,85	1,69	11,84	12,58	89,52
2 003	10,11	70,83	0,78	6,85	1,69	11,84	12,58	89,52
2 004	10,11	70,83	0,78	6,85	1,69	11,84	12,58	89,52
2 005	15,31	107,29	0,78	6,85	2,56	17,93	18,65	132,07
2 006	15,31	107,29	0,78	6,85	2,56	17,93	18,65	132,07
2 007	15,31	107,29	0,78	6,85	2,56	17,93	18,65	132,07
2 008	15,31	107,29	0,78	6,85	2,56	17,93	18,65	132,07
2 009	15,31	107,29	0,78	6,85	2,56	17,93	18,65	132,07
2 010	34,45	241,41	0,78	6,85	5,76	40,35	40,99	288,60
2 011	34,45	241,41	0,78	6,85	5,76	40,35	40,99	288,60
2 012	34,45	241,41	0,78	6,85	5,76	40,35	40,99	288,60
2 013	34,45	241,41	0,78	6,85	5,76	40,35	40,99	288,60
2 014	34,45	241,41	0,78	6,85	5,76	40,35	40,99	288,60
2 015	77,51	543,17	0,78	6,85	12,95	90,78	91,24	640,80
2 016	77,51	543,17	0,78	6,85	12,95	90,78	91,24	640,80
2 017	77,51	543,17	0,78	6,85	12,95	90,78	91,24	640,80
2 018	77,51	543,17	0,78	6,85	12,95	90,78	91,24	640,80
2 019	77,51	543,17	0,78	6,85	12,95	90,78	91,24	640,80
2 020	77,51	543,17	0,78	6,85	12,95	90,78	91,24	640,80

Cuadro No 2.7.2

## PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA EN CABLES UNIPOLARES

## DATOS:

Sección del Conductor	:	120 mm <sup>2</sup>
Temperatura de Operación	:	50 oC
Resistencia del conductor		
a la temperatura de operación	:	0,172 Ohm/km
Capacitancia del cable	:	0,190 uF/km
Resistencia de la pantalla a		
la temperatura de 30 oC	:	0,493 Ohm/km
la temperatura de operación	:	0,531 Ohm/km
Reactancia mutua entre el conductor		
y la pantalla metálica	:	0,144 Ohm/km

AÑO	EN EL CONDUCTOR		EN EL DIELECTRICO		EN LA PANTALLA		PERDIDAS TOTALES	
	kW	MWh	kW	MWh	kW	MWh	kW	MWh
1 996	5,71	40,05	0,83	7,25	1,20	8,44	7,75	55,73
1 997	5,71	40,05	0,83	7,25	1,20	8,44	7,75	55,73
1 998	5,71	40,05	0,83	7,25	1,20	8,44	7,75	55,73
1 999	7,98	55,94	0,83	7,25	1,68	11,78	10,49	74,97
2 000	7,98	55,94	0,83	7,25	1,68	11,78	10,49	74,97
2 001	7,98	55,94	0,83	7,25	1,68	11,78	10,49	74,97
2 002	7,98	55,94	0,83	7,25	1,68	11,78	10,49	74,97
2 003	7,98	55,94	0,83	7,25	1,68	11,78	10,49	74,97
2 004	7,98	55,94	0,83	7,25	1,68	11,78	10,49	74,97
2 005	12,09	84,73	0,83	7,25	2,55	17,85	15,47	109,83
2 006	12,09	84,73	0,83	7,25	2,55	17,85	15,47	109,83
2 007	12,09	84,73	0,83	7,25	2,55	17,85	15,47	109,83
2 008	12,09	84,73	0,83	7,25	2,55	17,85	15,47	109,83
2 009	12,09	84,73	0,83	7,25	2,55	17,85	15,47	109,83
2 010	27,20	190,65	0,83	7,25	5,73	40,16	33,76	238,06
2 011	27,20	190,65	0,83	7,25	5,73	40,16	33,76	238,06
2 012	27,20	190,65	0,83	7,25	5,73	40,16	33,76	238,06
2 013	27,20	190,65	0,83	7,25	5,73	40,16	33,76	238,06
2 014	27,20	190,65	0,83	7,25	5,73	40,16	33,76	238,06
2 015	61,21	428,97	0,83	7,25	12,89	90,36	74,93	526,58
2 016	61,21	428,97	0,83	7,25	12,89	90,36	74,93	526,58
2 017	61,21	428,97	0,83	7,25	12,89	90,36	74,93	526,58
2 018	61,21	428,97	0,83	7,25	12,89	90,36	74,93	526,58
2 019	61,21	428,97	0,83	7,25	12,89	90,36	74,93	526,58
2 020	61,21	428,97	0,83	7,25	12,89	90,36	74,93	526,58

Cuadro No 2.7.3

## PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA EN CABLES UNIPOLARES

## DATOS:

Sección del Conductor	:	150 mm <sup>2</sup>
Temperatura de Operación	:	50 oC
Resistencia del conductor	:	
a la temperatura de operación	:	0,141 Ohm/km
Capacitancia del cable	:	0,206 uF/km
Resistencia de la pantalla a	:	
la temperatura de 30 oC	:	0,400 Ohm/km
la temperatura de operación	:	0,431 Ohm/km
Reactancia mutua entre el conductor	:	
y la pantalla metálica	:	0,142 Ohm/km

AÑO	EN EL CONDUCTOR		EN EL DIELECTRICO		EN LA PANTALLA		PERDIDAS TOTALES	
	kW	MWh	kW	MWh	kW	MWh	kW	MWh
1 996	4,68	32,77	0,89	7,84	1,40	9,79	6,97	50,40
1 997	4,68	32,77	0,89	7,84	1,40	9,79	6,97	50,40
1 998	4,68	32,77	0,89	7,84	1,40	9,79	6,97	50,40
1 999	6,53	45,77	0,89	7,84	1,95	13,67	9,38	67,28
2 000	6,53	45,77	0,89	7,84	1,95	13,67	9,38	67,28
2 001	6,53	45,77	0,89	7,84	1,95	13,67	9,38	67,28
2 002	6,53	45,77	0,89	7,84	1,95	13,67	9,38	67,28
2 003	6,53	45,77	0,89	7,84	1,95	13,67	9,38	67,28
2 004	6,53	45,77	0,89	7,84	1,95	13,67	9,38	67,28
2 005	9,89	69,33	0,89	7,84	2,96	20,71	13,74	97,88
2 006	9,89	69,33	0,89	7,84	2,96	20,71	13,74	97,88
2 007	9,89	69,33	0,89	7,84	2,96	20,71	13,74	97,88
2 008	9,89	69,33	0,89	7,84	2,96	20,71	13,74	97,88
2 009	9,89	69,33	0,89	7,84	2,96	20,71	13,74	97,88
2 010	22,26	155,99	0,89	7,84	6,65	46,61	29,80	210,44
2 011	22,26	155,99	0,89	7,84	6,65	46,61	29,80	210,44
2 012	22,26	155,99	0,89	7,84	6,65	46,61	29,80	210,44
2 013	22,26	155,99	0,89	7,84	6,65	46,61	29,80	210,44
2 014	22,26	155,99	0,89	7,84	6,65	46,61	29,80	210,44
2 015	50,08	350,97	0,89	7,84	14,96	104,87	65,94	463,68
2 016	50,08	350,97	0,89	7,84	14,96	104,87	65,94	463,68
2 017	50,08	350,97	0,89	7,84	14,96	104,87	65,94	463,68
2 018	50,08	350,97	0,89	7,84	14,96	104,87	65,94	463,68
2 019	50,08	350,97	0,89	7,84	14,96	104,87	65,94	463,68
2 020	50,08	350,97	0,89	7,84	14,96	104,87	65,94	463,68

Cuadro No 2.7 4

## PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA EN CABLES UNIPOLARES

## DATOS:

Sección del Conductor	:	185 mm <sup>2</sup>
Temperatura de Operación	:	50 °C
Resistencia del conductor	:	
a la temperatura de operación	:	0,112 Ohm/km
Capacitancia del cable	:	0,220 uF/km
Resistencia de la pantalla a	:	
la temperatura de 30 °C	:	0,385 Ohm/km
la temperatura de operación	:	0,415 Ohm/km
Reactancia mutua entre el conductor	:	
y la pantalla metálica	:	0,139 Ohm/km

AÑO	EN EL CONDUCTOR		EN EL DIELECTRICO		EN LA PANTALLA		PERDIDAS TOTALES	
	kW	MWh	kW	MWh	kW	MWh	kW	MWh
1 996	3,71	26,01	0,96	8,39	1,39	9,73	6,06	44,12
1 997	3,71	26,01	0,96	8,39	1,39	9,73	6,06	44,12
1 998	3,71	26,01	0,96	8,39	1,39	9,73	6,06	44,12
1 999	5,18	36,32	0,96	8,39	1,94	13,59	8,08	58,30
2 000	5,18	36,32	0,96	8,39	1,94	13,59	8,08	58,30
2 001	5,18	36,32	0,96	8,39	1,94	13,59	8,08	58,30
2 002	5,18	36,32	0,96	8,39	1,94	13,59	8,08	58,30
2 003	5,18	36,32	0,96	8,39	1,94	13,59	8,08	58,30
2 004	5,18	36,32	0,96	8,39	1,94	13,59	8,08	58,30
2 005	7,85	55,02	0,96	8,39	2,94	20,58	11,75	83,99
2 006	7,85	55,02	0,96	8,39	2,94	20,58	11,75	83,99
2 007	7,85	55,02	0,96	8,39	2,94	20,58	11,75	83,99
2 008	7,85	55,02	0,96	8,39	2,94	20,58	11,75	83,99
2 009	7,85	55,02	0,96	8,39	2,94	20,58	11,75	83,99
2 010	17,67	123,80	0,96	8,39	6,61	46,31	25,23	178,50
2 011	17,67	123,80	0,96	8,39	6,61	46,31	25,23	178,50
2 012	17,67	123,80	0,96	8,39	6,61	46,31	25,23	178,50
2 013	17,67	123,80	0,96	8,39	6,61	46,31	25,23	178,50
2 014	17,67	123,80	0,96	8,39	6,61	46,31	25,23	178,50
2 015	39,75	278,55	0,96	8,39	14,87	104,20	55,57	391,14
2 016	39,75	278,55	0,96	8,39	14,87	104,20	55,57	391,14
2 017	39,75	278,55	0,96	8,39	14,87	104,20	55,57	391,14
2 018	39,75	278,55	0,96	8,39	14,87	104,20	55,57	391,14
2 019	39,75	278,55	0,96	8,39	14,87	104,20	55,57	391,14
2 020	39,75	278,55	0,96	8,39	14,87	104,20	55,57	391,14

Cuadro No 2.7.5

## PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA EN CABLES UNIPOLARES

## DATOS:

Sección del Conductor	:	240	mm <sup>2</sup>
Temperatura de Operación	:	50	oC
Resistencia del conductor	:		
a la temperatura de operación	:	0,085	Ohm/km
Capacitancia del cable	:	0,232	uF/km
Resistencia de la pantalla a	:		
la temperatura de 30 oC	:	0,350	Ohm/km
la temperatura de operación	:	0,378	Ohm/km
Reactancia mutua entre el conductor	:		
y la pantalla metálica	:	0,132	Ohm/km

AÑO	EN EL CONDUCTOR		EN EL DIELECTRICO		EN LA PANTALLA		PERDIDAS TOTALES	
	kW	MWh	kW	MWh	kW	MWh	kW	MWh
1 996	2,82	19,77	1,01	8,82	1,36	9,54	5,19	38,13
1 997	2,82	19,77	1,01	8,82	1,36	9,54	5,19	38,13
1 998	2,82	19,77	1,01	8,82	1,36	9,54	5,19	38,13
1 999	3,94	27,61	1,01	8,82	1,90	13,33	6,85	49,76
2 000	3,94	27,61	1,01	8,82	1,90	13,33	6,85	49,76
2 001	3,94	27,61	1,01	8,82	1,90	13,33	6,85	49,76
2 002	3,94	27,61	1,01	8,82	1,90	13,33	6,85	49,76
2 003	3,94	27,61	1,01	8,82	1,90	13,33	6,85	49,76
2 004	3,94	27,61	1,01	8,82	1,90	13,33	6,85	49,76
2 005	5,97	41,82	1,01	8,82	2,88	20,19	9,86	70,83
2 006	5,97	41,82	1,01	8,82	2,88	20,19	9,86	70,83
2 007	5,97	41,82	1,01	8,82	2,88	20,19	9,86	70,83
2 008	5,97	41,82	1,01	8,82	2,88	20,19	9,86	70,83
2 009	5,97	41,82	1,01	8,82	2,88	20,19	9,86	70,83
2 010	13,43	94,09	1,01	8,82	6,48	45,42	20,91	148,34
2 011	13,43	94,09	1,01	8,82	6,48	45,42	20,91	148,34
2 012	13,43	94,09	1,01	8,82	6,48	45,42	20,91	148,34
2 013	13,43	94,09	1,01	8,82	6,48	45,42	20,91	148,34
2 014	13,43	94,09	1,01	8,82	6,48	45,42	20,91	148,34
2 015	30,21	211,70	1,01	8,82	14,58	102,21	45,80	322,73
2 016	30,21	211,70	1,01	8,82	14,58	102,21	45,80	322,73
2 017	30,21	211,70	1,01	8,82	14,58	102,21	45,80	322,73
2 018	30,21	211,70	1,01	8,82	14,58	102,21	45,80	322,73
2 019	30,21	211,70	1,01	8,82	14,58	102,21	45,80	322,73
2 020	30,21	211,70	1,01	8,82	14,58	102,21	45,80	322,73

Cuadro No 2 7.6

## PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA EN CABLES UNIPOLARES

## DATOS:

Sección del Conductor	:	300 mm <sup>2</sup>
Temperatura de Operación	:	50 °C
Resistencia del conductor	:	
a la temperatura de operación	:	0,068 Ohm/km
Capacitancia del cable	:	0,260 uF/km
Resistencia de la pantalla a	:	
la temperatura de 30 °C	:	0,348 Ohm/km
la temperatura de operación	:	0,376 Ohm/km
Reactancia mutua entre el conductor	:	
y la pantalla metálica	:	0,131 Ohm/km

AÑO	EN EL CONDUCTOR		EN EL DIELECTRICO		EN LA PANTALLA		PERDIDAS TOTALES	
	kW	MWh	kW	MWh	kW	MWh	kW	MWh
1 996	2,26	15,86	1,13	9,88	1,36	9,53	4,75	35,27
1 997	2,26	15,86	1,13	9,88	1,36	9,53	4,75	35,27
1 998	2,26	15,86	1,13	9,88	1,36	9,53	4,75	35,27
1 999	3,16	22,16	1,13	9,88	1,90	13,31	6,19	45,35
2 000	3,16	22,16	1,13	9,88	1,90	13,31	6,19	45,35
2 001	3,16	22,16	1,13	9,88	1,90	13,31	6,19	45,35
2 002	3,16	22,16	1,13	9,88	1,90	13,31	6,19	45,35
2 003	3,16	22,16	1,13	9,88	1,90	13,31	6,19	45,35
2 004	3,16	22,16	1,13	9,88	1,90	13,31	6,19	45,35
2 005	4,79	33,56	1,13	9,88	2,88	20,16	8,79	63,60
2 006	4,79	33,56	1,13	9,88	2,88	20,16	8,79	63,60
2 007	4,79	33,56	1,13	9,88	2,88	20,16	8,79	63,60
2 008	4,79	33,56	1,13	9,88	2,88	20,16	8,79	63,60
2 009	4,79	33,56	1,13	9,88	2,88	20,16	8,79	63,60
2 010	10,78	75,52	1,13	9,88	6,47	45,36	18,38	130,76
2 011	10,78	75,52	1,13	9,88	6,47	45,36	18,38	130,76
2 012	10,78	75,52	1,13	9,88	6,47	45,36	18,38	130,76
2 013	10,78	75,52	1,13	9,88	6,47	45,36	18,38	130,76
2 014	10,78	75,52	1,13	9,88	6,47	45,36	18,38	130,76
2 015	24,25	169,92	1,13	9,88	14,56	102,07	39,94	281,86
2 016	24,25	169,92	1,13	9,88	14,56	102,07	39,94	281,86
2 017	24,25	169,92	1,13	9,88	14,56	102,07	39,94	281,86
2 018	24,25	169,92	1,13	9,88	14,56	102,07	39,94	281,86
2 019	24,25	169,92	1,13	9,88	14,56	102,07	39,94	281,86
2 020	24,25	169,92	1,13	9,88	14,56	102,07	39,94	281,86

## 2.2.8 Costos de potencia y energía

### 2.2.8.1 Definición

La Subestación Puente 60/10 kV se alimenta de la Subestación Base Santa Rosa 220 kV mediante una línea en 60 kV de aproximadamente 7 km

Según la Resolución de la Comisión de Tarifas Eléctricas No 009-94 P/CTE los Precios de Barra de la Energía en la S.E. Puente 60/10 kV serán el resultado de multiplicar los Precios de Barra de la Energía de la Subestación Santa Rosa 220 kV (definido en 2.2.8.2) por el respectivo factor de pérdidas marginales de energía (definido en 2.2.8.3); y los Precios de Barra de Potencia de Punta en la subestación Puente 60/10 kV serán el resultado de multiplicar los Precios de Barra de la Potencia de Punta en la Subestación Santa Rosa 220 kV (definido en 2.2.8.2) por el respectivo factor de pérdidas marginales de potencia (definido de 2.2.8.4), agregando a este producto el cargo por peaje secundario (definido en 2.2.8.5) y verificando que no se excedan los límites denominados "Costos de Conexión Directa" descritos en dicha resolución.

El Cargo Base por Peaje secundario (definido en 2.2.8.5) y el Ingreso Tarifario correspondiente (definido en 2.2.8.2), incorpora todos los costos de inversión, operación, mantenimiento y pérdidas de potencia y energía en las instalaciones de transmisión y se compensarán de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 62° de la Ley de Concesiones Eléctricas.

### 2.2.8.2 Precios de barra en la subestación base Santa Rosa 220 kV

Según la Resolución No 009 - 94 P/CTE, los Precios de Barra de la subestación Santa Rosa 220 kV son obtenidos de la siguiente manera:

$$PEBP = PEMP + CPSEE$$

$$PEBF = PEMF + CPSEE$$

$$PPB = PPM + PCSPT$$

Donde :

PEBP = Precio de Barra de la Energía en Horas de Punta, expresado en céntimos de S/./kWh

PEMP = Precio de la Energía Marginal en Hora de Punta para las Subestaciones Base del Sistema, expresado en céntimos de S/./kWh

$$PEMP = 12,17$$

PEBF = Precio de Barra de la Energía en Horas Fuera de Punta, expresado en céntimos de S/./kWh

PEMF = Precio de la Energía Marginal en Hora de Fuera de Punta para las Subestaciones Base del Sistema, expresado en céntimos de S/./kWh

$$PEMF = 4,87$$

CPSEE= Cargo por peaje Secundario Equivalente en Energía para las Subestaciones Base del Sistema Secundario de Transmisión, expresado en céntimos de S/./kWh  $CPSEE = 0,00$

PPB - Precio de Barra de la Potencia de Punta expresado en S/./kW-mes

PPM = Precio de la potencia marginal Marginal de Potencia de Punta, expresado en S/./kW-mes

$$PPM = 12,47$$

PCSPT= Peaje de Conexión al Sistema Principal de Transmisión, expresado en S/./kW-mes

$$PCSPT = 2,06$$

Por lo tanto: PEBP =  $12,17 * 10^{-2}$  S/./kWh

$$PEBF = 4,87 * 10^{-2} \text{ S/./kWh}$$

$$PPB = 12,47 + 2,06 = 14,53 \text{ S/./kW-mes}$$

### 2.2.8.3 Factor de pérdidas marginales de energía (FPME)

Según la Resolución No 009 - 94 P/CTE, se calcula de la siguiente manera:

$$FPME = FPET \left( 1 + \frac{PEL}{100 L} \right)$$

Donde:

FPET = Factor de pérdidas marginales de energía por transformación.

Como existe transformación de 220 kV a 60 kV, FPET = 1,0052

PEL = Pérdidas marginales de energía por transmisión, en %/km

Para el nivel de tensión de 60 kV: PEL = 0,0968%/km

L = Longitud de la línea de transmisión = 7 km

Por lo tanto:

$$FPME = 1,0052 \left( 1 + \frac{0,0968}{700} \right) = 1,00534$$

$$FPME = 1,0052 * \{ 1 + 0,0968/700 \} = 1,0053$$

#### 2.2.8.4 Factor de pérdidas marginales de potencia (FPMP)

Según la Resolución No 009 - 94 P/CTE, se calcula de la siguiente manera:

$$FPMP = FPPT \left( 1 + \frac{PPL}{100 L} \right)$$

Donde:

FPPT = Factor de pérdidas marginales de potencia por transformación.

Como existe transformación 220 kV a 60 kV FPPT = 1,0088

PPL Pérdidas marginales de potencia por transmisión, en %/km

Para el nivel de tensión de 60 kV PPL = 0,1158 %/km

Por lo tanto:

$$FPMP = 1,0088 \left( 1 + \frac{0,1158}{700} \right) = 1,00897$$

#### 2.2.8.5 Cargo base por peaje secundario (CBPS)

Según la Resolución No 009 - 94 P/CTE, se calcula de la siguiente manera:

$$CBPS = CBPST + CBPSL (L) (C) \frac{S/}{kW-mes}$$

Donde:

CBPST = Cargo base por peaje secundario de transformación en S/./kW-mes

Como existe transformación de 220 kV a 60 kV

$$CBPST = 0,643 \text{ S/./kW-mes}$$

CBPSL = Cargo base por peaje secundario por transporte en S/./kW-mes-km

Para el nivel de tensión de 60 kV

$$CBPSL = 0,02290 \text{ S/./kW-mes-km}$$

C = Variables dependiente de los MW por km totales retirados de cada línea, según:  $C = 1,00$

Si la suma de los MW por km retirados desde el sistema de transmisión es menor a 1 000

$$C = 0,70$$

Si la suma de los MW por km retirados desde el sistema de transmisión es mayor a 1 000 pero inferior a 1 250

$$C = 0,60$$

Si la suma de los MW por km retirados desde el sistema de transmisión es mayor a 1 250

Para el caso de estudio y en el año final

$$MW \times km = 18 (7) = 126 < 1\ 000 \gg C = 1$$

Por lo tanto:

$$CBPS = 0,643 + 0,02290 (7) (1) = 0,8033 \frac{\text{S/}}{\text{kW-mes}}$$

### 2.2.8.6 Precios en barra de energía en subestación Puente

Multiplicando los Precios de Barra de la Energía de la subestación Santa Rosa 220 kV (PEBP y PEBF) por el correspondiente factor de pérdidas marginales de energía (FPME) se obtiene:

Costo de Energía en Hora Punta

$$\begin{aligned}
 \text{PEBP Puente} &= \text{PEBP} * \text{FPME} \\
 &= (12,17 * 10^{-2}) * 1,00534 \\
 \text{PEBP Puente} &= 122,35 \text{ S/./MWh}
 \end{aligned}$$

En dólares al tipo de cambio de 1 US\$ - 2,24 S/. e incluyendo el IGV se tiene:

$$\text{PEBP Puente} = 64,45 \text{ \$/MWh}$$

Costo de Energía en Hora Fuera de Punta

$$\begin{aligned}
 \text{PEBF Puente} &= \text{PEBF} * \text{FPME} \\
 &= (4,87 * 10^{-2}) * 1,00534 \\
 \text{PEBF Puente} &= 48,96 \text{ S/./MWh}
 \end{aligned}$$

En dólares al tipo de cambio de 1 US\$ - 2,24 S/. e incluyendo el IGV se tiene:

$$\text{PEBF Puente} = 25,79 \text{ \$/MWh}$$

Sobre la base de estos precios y teniendo en cuenta que las horas de punta se sitúan, según la Comisión de Tarifas Eléctricas, entre las 18:00 y 23:00 horas; el costo promedio de energía es:

$$TPE = \frac{(5 \text{ PEBP} + 19 \text{ PEBF})}{24}$$

$$TPE = \frac{(322,25 + 490,01)}{24}$$

$$\text{TARIFA PROMEDIO DE ENERGIA} = 33,84 \frac{\text{\$}}{\text{MWh}}$$

#### 2.2.8.7 Precios en barra de potencia en subestación Puente

Multiplicando el Precio de Barra de la Potencia de la subestación Santa Rosa 220 kV (PPB) por el correspondiente factor de pérdidas marginales de potencia (FPMP) y agregando el Cargo por Peaje Secundario (CBPS) se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{PPB Puente} &= \text{PPB} * \text{FPMP} \\ &= 14,53 * 1,00897 + 0,8033 \end{aligned}$$

$$\text{PPB Puente} = 15,46 \text{ S/./kW-mes}$$

En dólares al tipo de cambio de 1 US\$ = 2,24 S/. e incluyendo el IGV se tiene:

$$\text{TARIFA DE POTENCIA} = 97\,752 \frac{\text{\$}}{\text{MW-año}}$$

## 2.2.9 Evaluación económica para elegir la sección del conductor

### 2.2.9.1 Objeto

La Evaluación Económica de pérdidas de potencia y energía en cables subterráneos tiene por objeto determinar el valor presente de los montos que se pagarán en el futuro por concepto de estas pérdidas. La tasa de descuento utilizado es 12% que es el costo de oportunidad de la empresa que lleve a cabo el proyecto, sin embargo con el objeto de efectuar la selección técnico -económica del cable, se han efectuado análisis de sensibilidad para varios casos.

### 2.2.9.2 Casos analizados

#### Caso I (Base)

Tasa de descuento	12%
Factor de Carga	0,89
Factor de Pérdidas	0.80

#### Caso II

Tasa de descuento	12%
Factor de Carga	0,75
Factor de Pérdidas	0.62

#### Caso III

Tasa de descuento	14%
Factor de Carga	0,89
Factor de Pérdidas	0.80

### 2.2.9.3 Resumen

Los costos de pérdidas actualizadas para cada una de las secciones propuestas se muestran en los cuadros 2.9.1 al 2.9.18, y en los Cuadro 2.9.19 al 2.9.23 se resumen los costos totales incluyendo los costos del cable instalado.

### 2.2.10 Resultados

De los cuadros se deduce que los costos actualizados de pérdidas de potencia y energía no tienen influencia significativa en la determinación de la sección económica del cable, en virtud del elevado valor que tiene la inversión inicial.

En consecuencia podrá utilizarse el cable de menor sección técnicamente aceptable, es decir, 120 mm<sup>2</sup>.

## 2.3 Características de la instalación

Los cables se instalarán preferentemente debajo de las bermas laterales o calzadas, pero no debajo de las veredas, pues allí se encuentran instaladas redes eléctricas de baja tensión a 220 V, de media tensión a 10 kV y acometidas domiciliarias de agua y desague que dificultarían la instalación de los cables en 60 kV.

La disposición típica de los cables en la zanja será la que se muestra en la Lamina No 04. En ella se puede apreciar que los cables unipolares se sitúan a 1,50 m por debajo del piso. La separación mínima entre fases, según recomendaciones de los fabricantes es de 2 veces el diámetro exterior del cable; para el de 120 mm<sup>2</sup> se ha fijado en 120 mm

esta distancia.

Mayores separaciones tienen el inconveniente de aumentar la reactancia mutua del cable, cuyo efecto más negativo es el incremento de las pérdidas.

Los cables estarán rodeados por capas de arena convenientemente seleccionada y compactada a fin de que no se dañe la superficie exterior de estos, y además deberá tener una resistividad térmica inferior a  $150\text{ }^{\circ}\text{C-cm/W}$  para asegurar la óptima disipación del calor generado y evitar sobrecalentamientos peligrosos en el cable.

Sobre la capa de arena descrita se colocaran losetones de concreto que tendrán por finalidad proteger mecánicamente a los cables y distribuir mejor las cargas que se presenten sobre la superficie de rodadura.

A 0,15 m por encima del nivel superior de los losetones se instalarán los cables pilotos del sistema de protección diferencial. Las características más precisas y su mejor ubicación se dan en el capítulo de especificaciones técnicas y tomando en cuenta la recomendación de los fabricantes.

El relleno sobre el loseton deberá tener las mismas características que el que tuvo antes de que se hiciera la zanja.

El grado de compactación será el adecuado para aplicar sobre él la carpeta asfáltica o concreto, según el tipo de calzada de que se trate. En los cruces de calles y avenidas se utilizarán ductos de concreto.

En los extremos los cables llevarán terminales de porcelana cuya línea de fuga se seleccionará teniendo en cuenta el alto grado de contaminación de la zona (equivalente a una densidad de depósito salino de 0,25 mg/cm<sup>2</sup>), dentro de estos terminales se instalarán los conos de alivio (stress relief cone) los cuales serán prefabricados o hechos en el sitio siguiendo los procedimientos establecidos por el fabricante.

Cuadro No 2.9.1

## EVALUACION ECONOMICA PARA ELEGIR LA SECCION DEL CONDUCTOR

## COSTO DE LAS PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA (Caso I)

SECCION DEL CONDUCTOR	:	95,00	mm <sup>2</sup>
FACTOR DE CARGA	:	0,89	
FACTOR DE PERDIDAS	:	0,80	
TARIFA PROMEDIO DE ENERGIA	:	33,84	US\$/MWh
TARIFA DE POTENCIA	:	97 570,00	US\$/MW-año
TASA DE DESCUENTO	:	12,00%	

## COSTO ACTUALIZADO DE LAS

PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA : 52 916,02 US\$

AÑO	PERDIDAS DE		COSTO DE PERDIDAS DE		COSTO TOTAL	
	POTENCIA kW	ENERGIA MWh	POTENCIA US\$	ENERGIA US\$	ANUAL US\$	ACTUAL US\$
1 996	9,23	66,04	900,34	2 234,68	3 135,01	2 799,12
1 997	9,23	66,04	900,34	2 234,68	3 135,01	2 499,21
1 998	9,23	66,04	900,34	2 234,68	3 135,01	2 231,44
1 999	12,58	89,52	1 227,24	3 029,23	4 256,47	2 705,06
2 000	12,58	89,52	1 227,24	3 029,23	4 256,47	2 415,23
2 001	12,58	89,52	1 227,24	3 029,23	4 256,47	2 156,46
2 002	12,58	89,52	1 227,24	3 029,23	4 256,47	1 925,41
2 003	12,58	89,52	1 227,24	3 029,23	4 256,47	1 719,11
2 004	12,58	89,52	1 227,24	3 029,23	4 256,47	1 534,92
2 005	18,65	132,07	1 819,74	4 469,36	6 289,10	2 024,92
2 006	18,65	132,07	1 819,74	4 469,36	6 289,10	1 807,97
2 007	18,65	132,07	1 819,74	4 469,36	6 289,10	1 614,26
2 008	18,65	132,07	1 819,74	4 469,36	6 289,10	1 441,30
2 009	18,65	132,07	1 819,74	4 469,36	6 289,10	1 286,87
2 010	40,99	288,60	3 999,08	9 766,38	13 765,46	2 514,90
2 011	40,99	288,60	3 999,08	9 766,38	13 765,46	2 245,44
2 012	40,99	288,60	3 999,08	9 766,38	13 765,46	2 004,86
2 013	40,99	288,60	3 999,08	9 766,38	13 765,46	1 790,05
2 014	40,99	288,60	3 999,08	9 766,38	13 765,46	1 598,26
2 015	91,24	640,80	8 902,58	21 684,69	30 587,27	3 170,88
2 016	91,24	640,80	8 902,58	21 684,69	30 587,27	2 831,15
2 017	91,24	640,80	8 902,58	21 684,69	30 587,27	2 527,81
2 018	91,24	640,80	8 902,58	21 684,69	30 587,27	2 256,97
2 019	91,24	640,80	8 902,58	21 684,69	30 587,27	2 015,15
2 020	91,24	640,80	8 902,58	21 684,69	30 587,27	1 799,24

Cuadro No 2.9.2

## EVALUACION ECONOMICA PARA ELEGIR LA SECCION DEL CONDUCTOR

## COSTO DE LAS PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA (Caso I)

SECCION DEL CONDUCTOR	:	120,00	mm <sup>2</sup>
FACTOR DE CARGA	:	0,89	
FACTOR DE PERDIDAS	:	0,80	
TARIFA PROMEDIO DE ENERGIA	:	33,84	US\$/MWh
TARIFA DE POTENCIA	:	97 570,00	US\$/MW-año
TASA DE DESCUENTO	:	12,00%	

COSTO ACTUALIZADO DE LAS  
PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA : 43 925,82 US\$

AÑO	PERDIDAS DE		COSTO DE PERDIDAS DE		COSTO TOTAL	
	POTENCIA kW	ENERGIA MWh	POTENCIA US\$	ENERGIA US\$	ANUAL US\$	ACTUAL US\$
1 996	7,75	55,73	755,78	1 886,01	2 641,79	2 358,74
1 997	7,75	55,73	755,78	1 886,01	2 641,79	2 106,02
1 998	7,75	55,73	755,78	1 886,01	2 641,79	1 880,37
1 999	10,49	74,97	1 023,57	2 536,91	3 560,48	2 262,75
2 000	10,49	74,97	1 023,57	2 536,91	3 560,48	2 020,31
2 001	10,49	74,97	1 023,57	2 536,91	3 560,48	1 803,85
2 002	10,49	74,97	1 023,57	2 536,91	3 560,48	1 610,58
2 003	10,49	74,97	1 023,57	2 536,91	3 560,48	1 438,02
2 004	10,49	74,97	1 023,57	2 536,91	3 560,48	1 283,94
2 005	15,47	109,83	1 508,95	3 716,65	5 225,60	1 682,50
2 006	15,47	109,83	1 508,95	3 716,65	5 225,60	1 502,24
2 007	15,47	109,83	1 508,95	3 716,65	5 225,60	1 341,28
2 008	15,47	109,83	1 508,95	3 716,65	5 225,60	1 197,57
2 009	15,47	109,83	1 508,95	3 716,65	5 225,60	1 069,26
2 010	33,76	238,06	3 294,25	8 055,95	11 350,20	2 073,64
2 011	33,76	238,06	3 294,25	8 055,95	11 350,20	1 851,46
2 012	33,76	238,06	3 294,25	8 055,95	11 350,20	1 653,09
2 013	33,76	238,06	3 294,25	8 055,95	11 350,20	1 475,98
2 014	33,76	238,06	3 294,25	8 055,95	11 350,20	1 317,84
2 015	74,93	526,58	7 311,18	17 819,38	25 130,56	2 605,20
2 016	74,93	526,58	7 311,18	17 819,38	25 130,56	2 326,07
2 017	74,93	526,58	7 311,18	17 819,38	25 130,56	2 076,85
2 018	74,93	526,58	7 311,18	17 819,38	25 130,56	1 854,33
2 019	74,93	526,58	7 311,18	17 819,38	25 130,56	1 655,65
2 020	74,93	526,58	7 311,18	17 819,38	25 130,56	1 478,26

Cuadro No 2.9.3

## EVALUACION ECONOMICA PARA ELEGIR LA SECCION DEL CONDUCTOR

## COSTO DE LAS PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA (Caso I)

SECCION DEL CONDUCTOR	:	150,00	mm <sup>2</sup>
FACTOR DE CARGA	:	0,89	
FACTOR DE PERDIDAS	:	0,80	
TARIFA PROMEDIO DE ENERGIA	:	33,84	US\$/MWh
TARIFA DE POTENCIA	:	97 570,00	US\$/MW-año
TASA DE DESCUENTO	:	12,00%	

COSTO ACTUALIZADO DE LAS  
PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA : 39 077,60 US\$

AÑO	PERDIDAS DE		COSTO DE PERDIDAS DE		COSTO TOTAL	
	POTENCIA kW	ENERGIA MWh	POTENCIA US\$	ENERGIA US\$	ANUAL US\$	ACTUAL US\$
1 996	6,97	50,40	679,86	1 705,50	2 385,36	2 129,78
1 997	6,97	50,40	679,86	1 705,50	2 385,36	1 901,59
1 998	6,97	50,40	679,86	1 705,50	2 385,36	1 697,85
1 999	9,38	67,28	914,91	2 276,82	3 191,74	2 028,41
2 000	9,38	67,28	914,91	2 276,82	3 191,74	1 811,08
2 001	9,38	67,28	914,91	2 276,82	3 191,74	1 617,03
2 002	9,38	67,28	914,91	2 276,82	3 191,74	1 443,78
2 003	9,38	67,28	914,91	2 276,82	3 191,74	1 289,09
2 004	9,38	67,28	914,91	2 276,82	3 191,74	1 150,97
2 005	13,74	97,88	1 340,95	3 312,34	4 653,29	1 498,24
2 006	13,74	97,88	1 340,95	3 312,34	4 653,29	1 337,71
2 007	13,74	97,88	1 340,95	3 312,34	4 653,29	1 194,38
2 008	13,74	97,88	1 340,95	3 312,34	4 653,29	1 066,41
2 009	13,74	97,88	1 340,95	3 312,34	4 653,29	952,16
2 010	29,80	210,44	2 907,99	7 121,14	10 029,14	1 832,29
2 011	29,80	210,44	2 907,99	7 121,14	10 029,14	1 635,97
2 012	29,80	210,44	2 907,99	7 121,14	10 029,14	1 460,69
2 013	29,80	210,44	2 907,99	7 121,14	10 029,14	1 304,18
2 014	29,80	210,44	2 907,99	7 121,14	10 029,14	1 164,45
2 015	65,94	463,68	6 433,84	15 690,95	22 124,78	2 293,60
2 016	65,94	463,68	6 433,84	15 690,95	22 124,78	2 047,86
2 017	65,94	463,68	6 433,84	15 690,95	22 124,78	1 828,45
2 018	65,94	463,68	6 433,84	15 690,95	22 124,78	1 632,54
2 019	65,94	463,68	6 433,84	15 690,95	22 124,78	1 457,63
2 020	65,94	463,68	6 433,84	15 690,95	22 124,78	1 301,45

Cuadro No 2.9.4

## EVALUACION ECONOMICA PARA ELEGIR LA SECCION DEL CONDUCTOR

## COSTO DE LAS PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA (Caso I)

SECCION DEL CONDUCTOR	:	185,00	mm <sup>2</sup>
FACTOR DE CARGA	:	0,89	
FACTOR DE PERDIDAS	:	0,80	
TARIFA PROMEDIO DE ENERGIA	:	33,84	US\$/MWh
TARIFA DE POTENCIA	:	97 570,00	US\$/MW-año
TASA DE DESCUENTO	:	12,00%	

COSTO ACTUALIZADO DE LAS  
PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA : 33 448,36 US\$

AÑO	PERDIDAS DE		COSTO DE PERDIDAS DE		COSTO TOTAL	
	POTENCIA kW	ENERGIA MWh	POTENCIA US\$	ENERGIA US\$	ANUAL US\$	ACTUAL US\$
1 996	6,06	44,12	590,94	1 493,09	2 084,03	1 860,74
1 997	6,06	44,12	590,94	1 493,09	2 084,03	1 661,38
1 998	6,06	44,12	590,94	1 493,09	2 084,03	1 483,37
1 999	8,08	58,30	788,31	1 972,81	2 761,12	1 754,74
2 000	8,08	58,30	788,31	1 972,81	2 761,12	1 566,73
2 001	8,08	58,30	788,31	1 972,81	2 761,12	1 398,87
2 002	8,08	58,30	788,31	1 972,81	2 761,12	1 248,99
2 003	8,08	58,30	788,31	1 972,81	2 761,12	1 115,17
2 004	8,08	58,30	788,31	1 972,81	2 761,12	995,69
2 005	11,75	83,99	1 146,04	2 842,29	3 988,33	1 284,14
2 006	11,75	83,99	1 146,04	2 842,29	3 988,33	1 146,55
2 007	11,75	83,99	1 146,04	2 842,29	3 988,33	1 023,71
2 008	11,75	83,99	1 146,04	2 842,29	3 988,33	914,02
2 009	11,75	83,99	1 146,04	2 842,29	3 988,33	816,09
2 010	25,23	178,50	2 461,83	6 040,40	8 502,23	1 553,33
2 011	25,23	178,50	2 461,83	6 040,40	8 502,23	1 386,90
2 012	25,23	178,50	2 461,83	6 040,40	8 502,23	1 238,30
2 013	25,23	178,50	2 461,83	6 040,40	8 502,23	1 105,63
2 014	25,23	178,50	2 461,83	6 040,40	8 502,23	987,17
2 015	55,57	391,14	5 422,34	13 236,15	18 658,49	1 934,27
2 016	55,57	391,14	5 422,34	13 236,15	18 658,49	1 727,02
2 017	55,57	391,14	5 422,34	13 236,15	18 658,49	1 541,98
2 018	55,57	391,14	5 422,34	13 236,15	18 658,49	1 376,77
2 019	55,57	391,14	5 422,34	13 236,15	18 658,49	1 229,26
2 020	55,57	391,14	5 422,34	13 236,15	18 658,49	1 097,55

Cuadro No 2.9.5

## EVALUACION ECONOMICA PARA ELEGIR LA SECCION DEL CONDUCTOR

## COSTO DE LAS PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA (Caso I)

SECCION DEL CONDUCTOR	:	240,00	mm <sup>2</sup>
FACTOR DE CARGA	:	0,89	
FACTOR DE PERDIDAS	:	0,80	
TARIFA PROMEDIO DE ENERGIA	:	33,84	US\$/MWh
TARIFA DE POTENCIA	:	97 570,00	US\$/MW-año
TASA DE DESCUENTO	:	12,00%	

COSTO ACTUALIZADO DE LAS  
PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA : 28 118,17 US\$

AÑO	PERDIDAS DE		COSTO DE PERDIDAS DE		COSTO TOTAL	
	POTENCIA kW	ENERGIA MWh	POTENCIA US\$	ENERGIA US\$	ANUAL US\$	ACTUAL US\$
1 996	5,19	38,13	506,32	1 290,36	1 796,68	1 604,18
1 997	5,19	38,13	506,32	1 290,36	1 796,68	1 432,30
1 998	5,19	38,13	506,32	1 290,36	1 796,68	1 278,84
1 999	6,85	49,76	668,18	1 683,79	2 351,97	1 494,72
2 000	6,85	49,76	668,18	1 683,79	2 351,97	1 334,57
2 001	6,85	49,76	668,18	1 683,79	2 351,97	1 191,58
2 002	6,85	49,76	668,18	1 683,79	2 351,97	1 063,91
2 003	6,85	49,76	668,18	1 683,79	2 351,97	949,92
2 004	6,85	49,76	668,18	1 683,79	2 351,97	848,14
2 005	9,86	70,83	961,57	2 396,87	3 358,44	1 081,33
2 006	9,86	70,83	961,57	2 396,87	3 358,44	965,47
2 007	9,86	70,83	961,57	2 396,87	3 358,44	862,03
2 008	9,86	70,83	961,57	2 396,87	3 358,44	769,67
2 009	9,86	70,83	961,57	2 396,87	3 358,44	687,20
2 010	20,91	148,34	2 040,67	5 019,72	7 060,39	1 289,91
2 011	20,91	148,34	2 040,67	5 019,72	7 060,39	1 151,70
2 012	20,91	148,34	2 040,67	5 019,72	7 060,39	1 028,31
2 013	20,91	148,34	2 040,67	5 019,72	7 060,39	918,13
2 014	20,91	148,34	2 040,67	5 019,72	7 060,39	819,76
2 015	45,80	322,73	4 468,67	10 921,12	15 389,79	1 595,41
2 016	45,80	322,73	4 468,67	10 921,12	15 389,79	1 424,47
2 017	45,80	322,73	4 468,67	10 921,12	15 389,79	1 271,85
2 018	45,80	322,73	4 468,67	10 921,12	15 389,79	1 135,58
2 019	45,80	322,73	4 468,67	10 921,12	15 389,79	1 013,91
2 020	45,80	322,73	4 468,67	10 921,12	15 389,79	905,28

Cuadro No 2.9.6

## EVALUACION ECONOMICA PARA ELEGIR LA SECCION DEL CONDUCTOR

## COSTO DE LAS PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA (Caso I)

SECCION DEL CONDUCTOR	:	300,00	mm <sup>2</sup>
FACTOR DE CARGA	:	0,89	
FACTOR DE PERDIDAS	:	0,80	
TARIFA PROMEDIO DE ENERGIA	:	33,84	US\$/MWh
TARIFA DE POTENCIA	:	97 570,00	US\$/MW-año
TASA DE DESCUENTO	:	12,00%	

COSTO ACTUALIZADO DE LAS  
PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA : 25 150,70 US\$

AÑO	PERDIDAS DE		COSTO DE PERDIDAS DE		COSTO TOTAL	
	POTENCIA kW	ENERGIA MWh	POTENCIA US\$	ENERGIA US\$	ANUAL US\$	ACTUAL US\$
1 996	4,75	35,27	463,57	1 193,59	1 657,16	1 479,61
1 997	4,75	35,27	463,57	1 193,59	1 657,16	1 321,08
1 998	4,75	35,27	463,57	1 193,59	1 657,16	1 179,53
1 999	6,19	45,35	603,82	1 534,48	2 138,29	1 358,92
2 000	6,19	45,35	603,82	1 534,48	2 138,29	1 213,33
2 001	6,19	45,35	603,82	1 534,48	2 138,29	1 083,33
2 002	6,19	45,35	603,82	1 534,48	2 138,29	967,26
2 003	6,19	45,35	603,82	1 534,48	2 138,29	863,62
2 004	6,19	45,35	603,82	1 534,48	2 138,29	771,09
2 005	8,79	63,60	858,02	2 152,33	3 010,35	969,25
2 006	8,79	63,60	858,02	2 152,33	3 010,35	865,40
2 007	8,79	63,60	858,02	2 152,33	3 010,35	772,68
2 008	8,79	63,60	858,02	2 152,33	3 010,35	689,89
2 009	8,79	63,60	858,02	2 152,33	3 010,35	615,98
2 010	18,38	130,76	1 793,02	4 424,90	6 217,92	1 135,99
2 011	18,38	130,76	1 793,02	4 424,90	6 217,92	1 014,28
2 012	18,38	130,76	1 793,02	4 424,90	6 217,92	905,60
2 013	18,38	130,76	1 793,02	4 424,90	6 217,92	808,58
2 014	18,38	130,76	1 793,02	4 424,90	6 217,92	721,94
2 015	39,94	281,86	3 896,76	9 538,19	13 434,95	1 392,76
2 016	39,94	281,86	3 896,76	9 538,19	13 434,95	1 243,53
2 017	39,94	281,86	3 896,76	9 538,19	13 434,95	1 110,30
2 018	39,94	281,86	3 896,76	9 538,19	13 434,95	991,34
2 019	39,94	281,86	3 896,76	9 538,19	13 434,95	885,12
2 020	39,94	281,86	3 896,76	9 538,19	13 434,95	790,29

Cuadro No 2.9.7

## EVALUACION ECONOMICA PARA ELEGIR LA SECCION DEL CONDUCTOR

## COSTO DE LAS PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA (Caso II)

SECCION DEL CONDUCTOR	:	95,00	mm <sup>2</sup>
FACTOR DE CARGA	:	0,75	
FACTOR DE PERDIDAS	:	0,62	
TARIFA PROMEDIO DE ENERGIA	:	33,84	US\$/MWh
TARIFA DE POTENCIA	:	97 570,00	US\$/MW-año
TASA DE DESCUENTO	:	12,00%	

COSTO ACTUALIZADO DE LAS  
PERDIDAS DE POTENCIA Y ENERGIA : 44 865,61 US\$

AÑO	PERDIDAS DE		COSTO DE PERDIDAS DE		COSTO TOTAL	
	POTENCIA kW	ENERGIA MWh	POTENCIA US\$	ENERGIA US\$	ANUAL US\$	ACTUAL US\$
1 996	9,23	52,72	900,34	1 784,01	2 684,35	2 396,74
1 997	9,23	52,72	900,34	1 784,01	2 684,35	2 139,95
1 998	9,23	52,72	900,34	1 784,01	2 684,35	1 910,67
1 999	12,58	70,92	1 227,24	2 399,79	3 627,03	2 305,04
2 000	12,58	70,92	1 227,24	2 399,79	3 627,03	2 058,07
2 001	12,58	70,92	1 227,24	2 399,79	3 627,03	1 837,57
2 002	12,58	70,92	1 227,24	2 399,79	3 627,03	1 640,68
2 003	12,58	70,92	1 227,24	2 399,79	3 627,03	1 464,90
2 004	12,58	70,92	1 227,24	2 399,79	3 627,03	1 307,94
2 005	18,65	103,90	1 819,74	3 515,89	5 335,64	1 717,93
2 006	18,65	103,90	1 819,74	3 515,89	5 335,64	1 533,87
2 007	18,65	103,90	1 819,74	3 515,89	5 335,64	1 369,52
2 008	18,65	103,90	1 819,74	3 515,89	5 335,64	1 222,79
2 009	18,65	103,90	1 819,74	3 515,89	5 335,64	1 091,78
2 010	40,99	225,21	3 999,08	7 621,09	11 620,17	2 122,96
2 011	40,99	225,21	3 999,08	7 621,09	11 620,17	1 895,50
2 012	40,99	225,21	3 999,08	7 621,09	11 620,17	1 692,41
2 013	40,99	225,21	3 999,08	7 621,09	11 620,17	1 511,08
2 014	40,99	225,21	3 999,08	7 621,09	11 620,17	1 349,18
2 015	91,24	498,16	8 902,58	16 857,78	25 760,36	2 670,49
2 016	91,24	498,16	8 902,58	16 857,78	25 760,36	2 384,37
2 017	91,24	498,16	8 902,58	16 857,78	25 760,36	2 128,90
2 018	91,24	498,16	8 902,58	16 857,78	25 760,36	1 900,80
2 019	91,24	498,16	8 902,58	16 857,78	25 760,36	1 697,15
2 020	91,24	498,16	8 902,58	16 857,78	25 760,36	1 515,31

**CUADRO No 2.9.19**

**COSTO POR METRO INSTALADO DE CABLES DE ENERGIA XLPE 35/60 kV**

SECCION mm2	NOKIA		SHOWA		PIRELLI		COSTO PROMEDIO	COSTO MONTAJE	COSTO UNITARIO INSTALADO *
	FOB	FINAL *	CIF	FINAL *	CIF	FINAL *			
95	77,35	101,02	83,30	98,92	62,90	74,69	91,54	10,15	101,69
120	78,20	102,13	86,19	102,35	64,60	76,71	93,73	11,42	105,15
150	83,30	108,79	90,61	107,60	67,15	79,74	98,71	13,05	111,76
185	91,80	119,89	99,38	118,02	70,14	83,29	107,07	15,23	122,30
240	103,70	135,43	113,90	135,26	74,80	88,83	119,84	18,28	138,12
300	112,20	146,53	123,56	146,72	79,54	94,46	129,24	22,84	152,08
TERMINAL 95-300	5 953,50	7 806,53	10 027,80	13 148,95	5 018,40	6 580,38	9 178,62	342,36	9 520,98
EMPALME 95-300	3 159,00	4 142,24	3 660,30	4 799,57	2 970,00	3 894,41	4 278,74	114,06	4 392,80

\* El costo final es puesto en obra y esta en US\$

**CUADRO No 2.9.20**

**COSTO DE INSTALACION TOTAL DE CABLES DE ENERGIA XLPE 35/60 kV**

SECCION mm2	METRADO m	COSTO UNITARIO US\$/m	COSTO 6 TERMINALES US\$	COSTO 12 EMPALMES US\$	SUPERVISION ESPECIALIZADA US\$	COSTO TOTAL US\$
95	9600	101,69	57 125,87	52 713,60	3000	1 089 101
120	9600	105,15	57 125,87	52 713,60	3000	1 122 287
150	9600	111,76	57 125,87	52 713,60	3000	1 185 735
185	9600	122,30	57 125,87	52 713,60	3000	1 286 889
240	9600	138,12	57 125,87	52 713,60	3000	1 438 771
300	9600	152,08	57 125,87	52 713,60	3000	1 572 786

CUADRO No 2.9.21

EVALUACION ECONOMICA PARA ELEGIR LA SECCION DEL CONDUCTOR

(Caso I)

SECCION mm <sup>2</sup>	COSTO TOTAL DEL CABLE Y ACCESORIOS INSTALADO US\$	COSTO ACTUALIZADO DE PERDIDA DE POTENCIA Y ENERGIA US\$	COSTO TOTAL ACTUALIZADO FUNCION OBJETIVO US\$
95	1 089 101	52 916	1 142 017
120	1 122 287	43 926	1 166 213
150	1 185 735	39 078	1 224 813
185	1 286 889	33 448	1 320 337
240	1 438 771	28 118	1 466 889
300	1 572 786	25 151	1 597 937

CUADRO No 2.9.22

EVALUACION ECONOMICA PARA ELEGIR LA SECCION DEL CONDUCTOR

(Caso II)

SECCION mm <sup>2</sup>	COSTO TOTAL DEL CABLE Y ACCESORIOS INSTALADO US\$	COSTO ACTUALIZADO DE PERDIDA DE POTENCIA Y ENERGIA US\$	COSTO TOTAL ACTUALIZADO FUNCION OBJETIVO US\$
95	1 089 101	44 866	1 133 967
120	1 122 287	37 331	1 159 618
150	1 185 735	33 289	1 219 024
185	1 286 889	28 588	1 315 477
240	1 438 771	24 132	1 462 903
300	1 572 786	21 697	1 594 483

CUADRO No 2.9.23

EVALUACION ECONOMICA PARA ELEGIR LA SECCION DEL CONDUCTOR

(Caso III)

SECCION mm <sup>2</sup>	COSTO TOTAL DEL CABLE Y ACCESORIOS INSTALADO US\$	COSTO ACTUALIZADO DE PERDIDA DE POTENCIA Y ENERGIA US\$	COSTO TOTAL ACTUALIZADO FUNCION OBJETIVO US\$
95	1 089 101	42 504	1 131 605
120	1 122 287	35 325	1 157 612
150	1 185 735	31 463	1 217 198
185	1 286 869	26 976	1 313 865
240	1 438 771	22 725	1 461 496
300	1 572 786	20 381	1 593 167

CAPITULO III  
ESPECIFICACIONES TECNICAS DE SUMINISTRO

3.1 Cable de energía

3.1.1 Objeto

Estas Especificaciones cubren las condiciones técnicas requeridas para la fabricación, pruebas y entrega del cable de energía unipolar con aislamiento seco para utilizarse en la línea de subtransmisión subterránea en 60 kV.

3.1.2 Normas aplicables

El cable de energía, materia de la presente especificación, cumplirá, en donde sea aplicable, con las prescripciones de la siguientes Normas:

Para el conductor:

IEC 228 Conductors of Insulated Cables

Para la fabricación, los principios de:

IEC 502 Extruded Solid Dielectric Insulated Power Cables

For rated Voltages from 1 kV to 30 kV

Para las pruebas:

IEC 840 Test for Power Cables With Extruded Insulation

For Rated Voltages Above 30kV ( $U_m = 36kV$ ) UP to 150 kV

( $U_m = 170kV$ )

IEC 230 Impulse Tests on Cables and their accesories

IEC 540 Test Methods for insulation and Sheaths of Electric Cables and Cords (Elastomeric and Thermoplastic Compounds)

### 3.1.3 Condiciones de instalación

Los cables serán directamente enterrados a una profundidad de 1,50 m y bajo las siguientes condiciones:

Temperatura ambiente promedio	25°C
Temperatura del terreno	20°C
Resistividad térmica del terreno	150 C-cm/W

### 3.1.4 Condiciones de servicio

El sistema eléctrico en el cual operará el cable tiene las siguientes características

Tensión de servicio de la red	60 kV
Tensión máxima de servicio	66 kV
Frecuencia de la red	60 HZ
Naturaleza del neutro	R í g i d a m e n t e puesto a tierra
Corriente de cortocircuito máxima	19,27 kA
Tiempo de duración del cortocircuito	0,2 s
Nivel isocerámico	nulo
Factor de sobretensión de maniobra	3,5 p.u.

### 3.1.5 Características técnicas del cable

#### 3.1.5.1 Designación

El cable será unipolar del tipo N2XSY 3 - 1 x 120 mm<sup>2</sup>  
Norma ITINTEC 370.050

#### 3.1.5.2 Conductor (N)

El conductor será de cobre electrolítico recocido, cableado concéntrico compacto.

El número de alambres no deberá ser menor que el

indicado en la tabla de datos técnicos garantizados.

La relación de los diámetros de 2 alambres diferentes en el mismo conductor no debe exceder de 2.

#### **3.1.5.3 Aislamiento (2X)**

El aislamiento será de polietileno reticulado extruído (XLPE). El espesor promedio del aislamiento no debe ser menor que el valor nominal especificado.

El espesor de cualquier separador o cinta semiconductoras sobre el conductor o sobre el aislamiento no debe ser considerado como parte del aislamiento.

#### **3.1.5.4 Cinta semiconductoras sobre el conductor y el aislamiento**

Será una capa de compuesto semiconductor extruído.

#### **3.1.5.5 Pantalla metálica (S)**

Estará compuesta de cinta de cobre recocido o de alambres del mismo material, o una combinación de ambos.

Los alambres de cobre se aplicarán helicoidalmente sobre la cinta semiconductoras o sobre la cinta conductora.

#### **3.1.5.6 Cinta separadora**

Se aplicará sobre la pantalla metálica y estará compuesta de una capa de tejido plastificado aplicado helicoidalmente con un adecuado traslape.

#### **3.1.5.7 Cubierta exterior (Y)**

La cubierta exterior será de cloruro de polivinilo (PVC)

#### **3.1.5.8 Identificación del cable**

El cable llevará en la cubierta exterior, de preferencia en bajo relieve, la siguiente información:

- a) Designación del cable.
- b) Número de conductores.
- c) Sección en mm<sup>2</sup>.
- d) Tensión nominal  $E_0/E$  en kV
- e) Año de fabricación.
- f) Nombre del fabricante.

#### **3.1.6 Embalaje**

Los cables serán suministrados en carretes metálicos convenientemente protegidos contra ataques de agentes externos que puedan deteriorar la cubierta y el aislamiento del cable, durante el transporte marítimo.

Las características del embalaje deberán presentarse con la oferta técnica.

Los carretes tendrán el carácter de "no retornable" y su costo deberá estar incluido en la propuesta del postor.

#### **3.1.7 Pruebas**

Los cables se someterán en fábrica a las siguientes pruebas:

- a) Inspección física del conductor
- b) Resistencia eléctrica del conductor
- c) Medición del espesor del aislamiento
- d) Medición del espesor de la cinta semiconductor
- e) Medición del espesor de la pantalla metálica
- f) Medición del espesor de la cubierta exterior
- g) Medición del diámetro exterior del cable
- h) Medición de la resistencia del aislamiento
- i) Prueba de descarga parcial

- j) Medición del factor de potencia del aislamiento ( $Tg\delta$ )
- k) Prueba de sostenimiento a la tensión de impulso
- l) Prueba de sostenimiento a la tensión de frecuencia industrial
- m) Determinación del efecto corona
- n) Comprobación del grado de reticulado del aislamiento
- o) Pruebas de envejecimiento
- p) Determinación de las propiedades mecánicas del aislamiento y las cintas semiconductoras.

El costo de la pruebas estará incluido en la propuesta del postor.

Después de la instalación del cable y sus accesorios se efectuará una prueba con corriente continua durante 15 minutos y con una tensión de 4 veces la tensión entre fase y tierra ( $4E_0$ ).

### **3.1.8 Informaciones**

#### **3.1.8.1 Información requerida con la oferta**

El Postor deberá entregar las tablas de datos técnicos, así como adjuntar las Especificaciones Técnicas del material ofertado. Deberá presentar igualmente una relación de sus clientes a quienes ha suministrado cables similares.

#### **3.1.8.2 Información a remitir por el contratista**

Los documentos mencionados a continuación tendrán que ser remitidos por el Contratista a mas tardar, en los plazos siguientes a partir de la fecha de la orden de proceder:

- a) Un mes después de la orden de proceder;  
Programa detallado de fabricación  
Características eléctricas y mecánicas, definitivas del cable  
Dimensiones finales del conductor, aislamiento, pantallas y cubierta exterior  
longitud de cable por carrete
- b) Un mes antes del fin de fabricación  
Lista detallada de las pruebas a ejecutarse en los talleres del fabricante
- c) Al inicio del montaje  
Todos los informes de pruebas de rutinas, tipo y especiales realizadas.  
Conjunto de instrucciones para el adecuado tendido del cable.  
Currículum del personal especializado en tendido de cables.
- d) A la aceptación provisional  
Los planos, esquemas y demás documentos puestos al día.

### **3.2 Accesorios del cable**

#### **3.2.1 Objeto**

Estas Especificaciones cubren las condiciones técnicas requeridas para la fabricación, pruebas y entrega de accesorios para el cable de energía.

Los accesorios son los siguientes:

Terminales

Empalmes

Estructuras metálicas para soporte de terminales

### 3.2.2 Normas aplicables

Los accesorios del cable cumplirán, donde sea aplicable, con las prescripciones de las siguientes normas:

IEC 230 IMPULSE TEST ON CABLES AND THEIR ACCESORIES

IEC 137 BUSHING FOR ALTERNATING VOLTAGES ABOVE 1000 V

ASTM A36 STRUCTURAL STEEL

ASTM A 123 ZINC COATINGS ON PRODUCTS FABRICATED FROM ROLLED, PRESSED, AND FORGED STEEL SHAPES, PLATES, BARS AND STRIP.

### 3.2.3 Condiciones de instalación

Temperatura ambiente máxima	35°C
Temperatura ambiente mínima	10°C
Altitud sobre el nivel del mar	250 m
Distancia aproximada de la Costa	15 km
Grado de polución ambiental	pesado
Depósito equivalente de sal en mg/cm <sup>2</sup>	0,25
Nivel isocerámico	nulo
Factor de sobretensión de maniobra	3,5 p.u.

### 3.2.4 Características técnicas de los accesorios

#### 3.2.4.1 Terminal

El terminal será diseñado para montaje al exterior; el cuerpo metálico será de aluminio y estará previsto para instalación vertical.

El cuerpo aislante será de porcelana con configuración externa para ambiente altamente contaminado.

El terminal, por su parte inferior, estará preparado para recibir un cable unipolar tipo N2XSY de 120 mm<sup>2</sup> 35/60 kV.

En la parte superior el juego de tres (3) terminales poseerán grapas para conductor de aleación de aluminio de hasta 300 mm<sup>2</sup>, otro juego de tres(3) terminales tendrá conectores para conectarse a barras de cobre de sección rectangular.

Cada terminal estará provisto de un cono de alivio para el control de los esfuerzos eléctricos al final del cable, que podrá ser prefabricado o instalado completamente en sitio.

El espacio interior del terminal será relleno con un compuesto de características adecuadas.

Los bornes de tierra del terminal estarán convenientemente protegidos y aislados y deben ser inaccesibles al personal de servicio cuando por razones de operación, estos bornes no estén físicamente puestos a tierra.

#### **3.2.4.2 Empalmes**

Los empalmes incluirán todos los materiales para una adecuada instalación y comprenderán fundamentalmente:

Conectores para aplicación a presión y material de soldadura

Cintas semi conductoras

Cintas de polietileno reticulado autovulcanizantes

Pantalla metálica

Tubo plástico para protección del empalme

Caja para borne de puesta a tierra.

El empalme terminado deberá tener las mismas características eléctricas y mecánicas del cable al cual estará unido.

#### **3.2.4.3 Soporte metálico para terminales**

Los soportes para las terminales serán hechos con perfiles de acero galvanizado y deberán estar rodeado de una malla de protección.

Las dimensiones así como las características mecánicas serán definidas por el contratista sobre la base de la siguiente información dada por el proveedor:

peso del terminal

sobrecarga horizontal de viento a 60 km/h

sobrecarga horizontal y vertical por sismos

radio de curvatura del cable

Distancia mínima de partes con tensión en 60 kV con respecto al suelo

Capacidad portante de terreno: 2 kg/cm<sup>2</sup>

#### **3.2.5 Pruebas**

El postor indicará en su propuesta las pruebas tipo y de rutina a las cuales se someterán los accesorios descritos en esta especificación, de acuerdo con las normas señaladas o con otras internacionalmente aceptadas. El costo de efectuar tales pruebas estará incluido en la oferta del postor.

### 3.2.6 Informaciones

#### 3.2.6.1 Información requerida con la oferta

El postor deberá entregar las tablas de datos técnicos así como adjuntar las especificaciones técnicas, catálogos, fotografías y cualquier otra documentación que permita una adecuada evaluación de su propuesta.

El Postor deberá presentar también una relación de sus clientes a quienes ha suministrado equipos similares.

#### 3.2.6.2 Información a remitir por el contratista

Los siguientes documentos tendrán que ser remitidos por el Contratista en los plazos siguientes a partir de la fecha de la orden de proceder:

- a) Un mes después : Esquemas con dimensiones definitivas de los terminales y empalmes, Programa detallado de fabricación y Características mecánicas y dimensiones de los soportes para los terminales
- b) Un mes antes del fin de la fabricación : Lista detallada de las pruebas a ejecutarse en los talleres del fabricante.
- c) Al inicio del montaje Todos los informes de pruebas tipo y de rutina realizadas, el conjunto de instrucciones para la instalación de terminales y empalmes con las recomendaciones para la conexión de la puesta a tierra. Curriculum del personal especializado en montaje de terminales y cables 60kV.
- d) A la aceptación provisional: Planos esquemas y demás documentos puestos al día.

**CAPITULO IV**  
**ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CONSTRUCCION**

**4.1 Generalidades**

**4.1.1 Objeto**

Estas especificaciones cubren las condiciones técnicas requeridas para la instalación de una red subterránea en 60 kV entre la S.E. 60/10 kV "PUENTE" y el km 4,2 de la Carretera Central, Distritos de Santa Anita y Ate-Vitarte, Provincia de Lima.

**4.1.2 Alcances**

Las especificaciones de construcción comprenden las siguientes etapas:

Rotura de pistas y veredas

Excavación

Rellenos compactados

Construcción de cruzadas

Construcción de buzones

Reparación de pistas y veredas

Tendido del cable

Protección y señalización del cable

Transporte del cable y otros materiales

**4.1.3 Condiciones generales**

Los trabajos deberán ejecutarse de acuerdo con:

El contrato de construcción

El Reglamento Nacional de Construcciones

El Reglamento de Seguridad de "Luz del Sur" para obras de redes de distribución

El presente documento de Especificaciones Técnicas

#### **4.1.4 Programación de los trabajos**

Antes de iniciar la obra, el Contratista realizará las siguientes acciones:

Obtendrá todos los permisos de las entidades oficiales y particulares. De éstos, entregará obligatoriamente a "Luz del Sur" el Permiso Municipal y la Autorización del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para trabajos en carreteras y vías de tráfico intenso.

Realizará un reconocimiento en el terreno del trazado de la canalización tomando nota de la existencia de instalaciones pertenecientes a otros servicios o de cualquier tipo de instalación que interfiera o pueda ser dañado por los trabajos a ejecutarse.

Antes de empezar cualquier trabajo el Contratista deberá tener en obra todos los elementos de protección y señalización necesarios.

#### **4.2 Trabajos previos al tendido de los cables**

##### **4.2.1 Trazo del recorrido**

Las canalizaciones se ejecutarán en terreno de dominio público debajo de veredas, bermas o pistas.

El trazado será lo mas rectilíneo posible y paralelo en toda su longitud al límite de propiedad.

Antes de iniciar la excavación se marcará el recorrido de la zanja en su ancho y longitud.

Al trazar la zanja se tendrá en cuenta el radio mínimo de las curvas de acuerdo con la sección del conductor por instalar. Como regla general se recomienda que el radio de curvatura del cable debe ser inferior a 20 veces el diámetro exterior del cable durante el tendido e inferior a 10 veces una vez instalado.

#### **4.2.2 Rotura de veredas**

La rotura de vereda se ejecutará mediante equipos mecánicos de perforación vertical, preferentemente compresor y martillos neumáticos. Está prohibido el uso de combas de mano. Se tendrá en cuenta todo lo indicado en la Reglamentos de construcción civil.

Los cascotes originados por la rotura de veredas se eliminarán antes de iniciar la excavación de zanjas, debiendo hacer su transporte a los botaderos públicos el mismo día en que se produzcan.

#### **4.2.3 Excavación de zanjas**

##### **4.2.3.1 Zanja normal**

En zonas sin servicios instalados se ejecutará la apertura de zanja para instalar los cables de acuerdo a lo siguiente:

Profundidad, De acuerdo a lo indicado en los planos del proyecto.

Ancho, tendrá la dimensión necesaria, de tal modo que los cables sean manipuladas con comodidad por los operarios del tendido. Los cortes típicos muestran claramente la ubicación del cable en la zanja.

#### 4.2.3.2 Zanja en terrenos con servicios

Las zanjas en zonas con servicio instalados tendrán básicamente las mismas dimensiones que las señaladas en el punto 4.2.3.1, pero cuando en la canalización aparezcan instalaciones eléctricas o de otros servicios, el contratista deberá tomar, entre otras, las siguientes precauciones:

En el caso de tuberías de agua o desagüe, buzones de registro, etc. en precarias condiciones, deberá informar a la compañía encargada inmediatamente para la constatación del estado de sus instalaciones, evitando reclamos posteriores. Igual procedimiento se aplicará con las instalaciones telefónicas.

Deberá tomar todas las precauciones necesarias para evitar dañar las instalaciones de los servicios existentes, dejándolas, al finalizar los trabajos, en el mismo estado de conservación inicial.

Los cables eléctricos que se encuentren no deben dejarse suspendidos de modo que estén en tracción los empalmes y se dañen. Los cables y empalmes en Media Tensión (10 kV) no deben ser tocados ni removidos sin previa autorización.

En el caso extremo de causar algún daño en cualquier instalación existente, se avisará inmediatamente a la empresa respectiva para que proceda a su reparación. Los gastos ocasionados serán cargados a la cuenta del contratista.

Los cables seran colocados por debajo de las

instalaciones de agua y desagüe que tengan que cruzar, siempre y cuando estos servicios se encuentren a 1,00 m o menos de profundidad. En tal caso la distancia mínima entre el cable (o los cables) y los tubos en el punto de cruce serán los que se indican en los planos del proyecto.

En el caso especial de cruces con instalaciones a profundidad mayor a 1,00 m se hará previo estudio con aprobación de la empresa encargada.

#### **4.2.3.3 Recomendación general**

Las paredes de la zanjas deberán tener un talud mínimo suficiente para evitar desmoronamientos.

La tierra de excavación debe ser colocada a no menos de 0,50 m de los bordes de la zanja.

Durante la ejecución de los trabajos en la vía pública, se dejará pasos suficientes para vehículos y peatones, así como acceso a edificios, comercios y garages.

#### **4.2.4 Construcción de cruzadas**

##### **4.2.4.1 Objeto**

En el cruce con vías de tránsito vehicular se ha previsto la ejecución de cruzadas para permitir en el futuro el movimiento de los cables. El detalle constructivo se aprecia en los planos del proyecto.

##### **4.2.4.2 Ubicación**

Las cruzadas han sido determinadas y se encuentran señaladas en los planos.

El trazo de las cruzadas será aprobado en todos los casos por el supervisor, no debiendo el Contratista iniciar

el trabajo sin este requisito. En caso contrario, cualquier perjuicio que se presente sera a cargo del Contratista.

Al definir la ubicación de la cruzada, deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

La posición será tal que el extremo de la cruzada no se encuentre ubicado frente a puertas e inmuebles, puertas de garage, medidores de agua, buzones telefónicos, etc.

En todos los casos será necesario efectuar previamente los sondeo en los extremos de las cruzadas , con la finalidad de detectar la existencia de tuberías de agua, ductos telefónicos, canales de regadío subterráneo, etc. esto servirá para determinar la profundidad y ubicación de las mismas.

Deberá tenerse en consideración, futuras ampliaciones y remodelaciones de la zona de trabajo pues influirán tanto en la ubicación como en la longitud de la cruzada.

Los ductos deberán ser colocados hasta el borde las veredas.

#### **4.2.4.3 Corte del pavimento**

En todos los casos, el Contratista deberá hacer uso de equipos mecánicos. Estos incluyen un compresor de aire portátil, martillos neumáticos con sus respectivas conexiones y una provisión de puntas.

El corte del pavimento de concreto deberá ser de 40 cm más ancho que la zanja.

Los cascotes originados por la ruptura del pavimento,

deberán ser retirados de la zona de trabajo antes de proceder a la excavación de la zanja.

#### **4.2.4.4 Excavación de la zanja**

El Contratista ejecutará zanjas cuyo ancho quedará determinado por la cantidad de ductos a colocar y por las dimensiones de la máquina compactadora a usar.

La profundidad mínima de la zanja será la que indican los planos del proyecto. Situaciones especiales, debidos a problemas del terreno o instalación de agua, desagüe, teléfonos, etc., deberán ser coordinados previamente con el Supervisor.

Durante la etapa de excavación se deberá mantener el mayor orden posible en el trabajo poniendo especial cuidado en no desparramar el material de la excavación, para lo cual se dispondrá de personal que se encargue del barrido de la zona de trabajo.

En la excavación de la zanja, en algunos terrenos será necesario proceder al entibamiento y apuntalado para evitar que cedan las paredes, o el asentamiento de las paredes adyacentes. En ambos casos, deberán ser autorizados por el Supervisor.

#### **4.2.4.5 Colocación del solado**

El fondo de la zanja después de nivelado, será cubierto con un solado de concreto de 0,05 m de espesor en proporción 1:12. El ancho debe sobresalir 0,05 m como mínimo, a los costados de la hilera de ductos y en ambos extremos de la cruzada el solado se prolongará 0,50 m

#### 4.2.4.6 Colocación de ductos

Sobre el solado se colocarán los ductos de concreto, en número igual al especificado en los planos, los cuales deberán tener las juntas selladas con una cinta de tela (o papel) alquitranada y encima selladas con mortero cemento-arena en proporciones iguales. Deberán ser nivelados y alineados perfectamente.

Al término de su colocación todas las vías de los ductos ubicados en los extremos de la cruzada, serán adecuadamente taponeados con la finalidad de evitar el ingreso de concreto, piedras u otro material extraño. Luego de instalados los cables, las vías ocupadas por éstos serán selladas con cinta de yute alquitranada colocadas concéntricamente alrededor del cable.

#### 4.2.4.7 Relleno de la zanja

Antes de proceder al relleno, deberá efectuarse una comprobación del libre paso por el interior de los ductos.

El relleno se efectuará de la siguiente forma: se aplicará una primera capa sobre los ductos de concreto con arena especial de baja resistividad térmica. El espesor de esta capa está indicado con los planos.

El resto de la zanja se rellenará con material proveniente de la excavación y se tendrá cuidado en todo momento que el material de relleno esté libre de terrones y piedras cuyas dimensiones superen los 10 cm y de todo aquello extraño al suelo como: raíces, trapos, escombros, etc.

El material de relleno en la cruzada, deberá colocarse en capas de no más de 30 cm de espesor. Cada capa deberá humedecerse hasta alcanzar un contenido de humedad uniforme que sea adecuado para obtener la compactación máxima mediante planchas vibratorias.

Durante el relleno, la supervisión podrá ordenar se controle la compactación alcanzada. Si la densidad obtenida es menor del 95% de la densidad determinada por el método de Proctor, el contratista deberá recompactar hasta obtener la densidad necesaria.

En la parte superior del relleno se colocará una capa de afirmado de 15 cm después de compactado con el objeto de prevenir el bombeo de los suelos de grano fino.

En las zonas sin pavimentar no se colocará material afirmado.

#### **4.2.4.8 Construcción de pircas**

En la totalidad de los casos, será obligatoria la construcción de pircas de concreto ciclópeo en los extremos de la cruzada, con el objeto de evitar derrumbes del relleno al momento del tendido del cable.

#### **4.2.4.9 Reposición de pavimentos**

A medida que se terminen los trabajos, se procederá a ejecutar las reparaciones definitivas de pavimentos.

#### **4.2.5 Buzones**

##### **4.2.5.1 Objeto**

Se construirán buzones para albergar los empalmes rectos y poner a tierra la pantalla metálica del cable.

#### **4.2.5.2 Ubicación**

La ubicación de los buzones señalada en los planos es referencial, el Contratista definirá su ubicación final sobre la base de la longitud real del cable por cada carrete y la existencia de tuberías o buzones de otros servicios.

#### **4.2.5.3 Proceso de construcción**

El corte de pavimento o vereda y la excavación del terreno se harán de manera similar que para la construcción de cruzadas. Después de concluida la excavación se efectuará el vaciado de concreto en el fondo el cual será previamente compactado. Para el vaciado de concreto de las paredes laterales será obligatorio el uso de encofrado interior y exterior. El concreto, cemento y agregados deberán estar de acuerdo con los requerimientos de las especificaciones de concreto armado. Los marcos y tapas serán de fierro y tendrán las dimensiones y características constructivas adecuadas.

### **4.3 Tendido de los cables**

#### **4.3.1 Manipuleo de los cables**

##### **4.3.1.1 Transporte de bobinas**

El movimiento de la bobina se hará siempre con precaución, la carga y descarga sobre camiones o remolques apropiados se hará siempre con un eje que pase por el orificio central de la bobina.

Al izar la bobina no se debe presionar las caras laterales del carrete con la cadena, cable de acero, etc.,

utilizado para tal fin. Se debe colocar un soporte que mantenga la cadena separada de dichas caras.

No se debe transportar el carrete de costado, es decir, apoyado sobre una de las caras laterales.

Está terminantemente prohibido retener la bobina con cuerdas o cadenas que abracen a la bobina sobre las espiras exteriores del cable enrollado.

Esta prohibido dejar caer la bobina desde un camión o remolque y cuando se desplace la bobina en tierra, rodándola, hay que hacerlo en el sentido indicado en el carrete con una flecha, a fin de evitar que se afloje el cable enrollado. Además si el terreno es accidentado hay que hacerlo sobre tablones.

La bobina no debe almacenarse en suelo blando.

#### **4.3.1.2 Preparación del tendido**

Antes de empezar el tendido se estudiará el punto más apropiado para colocar la bobina.

En el caso de terreno con pendientes, es conveniente tender desde el punto más alto hacia el más bajo.

Cuando hay que atravesar muchas tuberías se debe situar la bobina en la parte mas alejada de las mismas, con el fin de evitar que pase la mayor parte del cable por los tubos.

Para el tendido, la bobina estará siempre elevada y sujeta por un eje y gatos de potencia apropiada al peso de la misma. Asimismo estará provista de un freno de pie para detener el giro de la bobina cuando sea necesario.

Cerca de la bobina y en el punto de entrada a la zanja

#### **4.2.5.2 Ubicación**

La ubicación de los buzones señalada en los planos es referencial, el Contratista definirá su ubicación final sobre la base de la longitud real del cable por cada carrete y la existencia de tuberías o buzones de otros servicios.

#### **4.2.5.3 Proceso de construcción**

El corte de pavimento o vereda y la excavación del terreno se harán de manera similar que para la construcción de cruzadas. Después de concluida la excavación se efectuará el vaciado de concreto en el fondo el cual será previamente compactado. Para el vaciado de concreto de las paredes laterales será obligatorio el uso de encofrado interior y exterior. El concreto, cemento y agregados deberán estar de acuerdo con los requerimientos de las especificaciones de concreto armado. Los marcos y tapas serán de fierro y tendrán las dimensiones y características constructivas adecuadas.

### **4.3 Tendido de los cables**

#### **4.3.1 Manipuleo de los cables**

##### **4.3.1.1 Transporte de bobinas**

El movimiento de la bobina se hará siempre con precaución, la carga y descarga sobre camiones o remolques apropiados se hará siempre con un eje que pase por el orificio central de la bobina.

Al izar la bobina no se debe presionar las caras laterales del carrete con la cadena, cable de acero, etc.,

debe colocarse un rodillo especial donde el cable se apoye y evitar maltratos y rozamientos.

La zanja en el fondo y en toda su longitud deberá estar cubierta con un solado de concreto (cemento-hormigón) de 5 cm de espesor, sobre éste se aplicará una capa de arena especial de baja resistividad térmica de 15 cm de espesor (después de compactada).

Antes de tender el cable se recorrerá la zanja para comprobar que se encuentre sin piedras ni otros elementos que puedan dañar el cable durante el tendido.

#### **4.3.2 Operación de tendido**

##### **4.3.2.1 Inicio del tendido**

Los tendidos deben hacerse en las mananas y debe comenzar a más tardar al inicio de la segunda hora de la jornada normal de trabajo y no se interrumpirá hasta que el cable esté convenientemente protegido.

##### **4.3.2.2 Ejecución del tendido**

El cable debe ser tirado del carrete en tal sentido que siempre se desarrolle de arriba hacia abajo y girando sobre el eje del portabobina en forma suave y continua, evitando de esta manera hacer bucles o que sufra torsión.

Al efectuar el tiro el cable no será arrastrado, debe utilizarse rodillos (polines) que giren libremente y contruidos de tal forma que no dañen el cable.

Los rodillos deben colocarse a distancias no mayores a 4 m entre ellos en tramos rectos. En las curvas deben utilizarse rodillos de diseño adecuado y su ubicación será

especialmente estudiada para evitar esfuerzos al cable que pueda dañarlo.

En ningún momento del tendido los cables deben someterse a un radio de curvatura menor de 20 veces su diámetro exterior.

El cable debe tenderse colocando la bobina en un extremo y jalando todo el tramo hasta llegar al lado opuesto. Esta prohibido colocar la bobina en una posición intermedia jalando hacia un extremo y desenrollando al resto formando "ochos" o senos.

La colocación del cable puede efectuarse por procedimientos mecánicos o manuales.

Tendido mediante equipo mecanizado.- Para el caso de longitudes considerables se recomienda el uso de winche a gasolina o eléctrico que facilite el tendido haciéndolo en forma rápida y uniforme.

El tiro se hace sobre el extremo del cable, el cual llevará un elemento de tracción (cabeza de tiro) sujeto firmemente a los conductores.

La tracción máxima será la indicada por el fabricante.

La velocidad de tendido no debe ser mayor de 10 m/min .

El dispositivo de tiro debe tener un limitador de tensión que detenga la tracción cuando la fuerza aplicada al cable supere el límite indicado, y en el caso de no tener este dispositivo se utilizará un dinamómetro para controlar la tracción durante el tendido.

Entre la cabeza de tiro y el cable de acceso del winche

se colocará un cabezal giratorio que absorba la torsión y no la trasmita al cable que se va a tender.

Tendido del cable en forma manual.- Cuando el tiro se efectúe a pulso se hará con un número de hombres colocados uno detrás de otro, tomando el cable a la altura correspondiente al rodillo. Deberá ubicarse por lo menos un hombre entre polín y polín.

En la cabeza del cable se colocará la manga tira cable y un grupo de personas tirará el cable en forma axial. El número de personas dependerá del peso del cable y las dificultades propias de cada tendido.

El tiro se hará a una sola vez, tanto para los que van a la cabeza como para los que estén ubicados entre los polines.

#### **4.3.2.3 Finalización del tendido**

El cable será desplazado a mano del rodillo a la zanja, con el mayor cuidado evitando esfuerzos por torsión, bucles, etc. No se permitirá desplazar el cable lateralmente por medio de palancas u otras herramientas; siempre se hará a mano. Si hay varios cables en la zanja se procederá a darle el espaciamiento entre ellos. Cuando el extremo del cable debe ser empalmado a otro, se cruzarán éstos por lo menos un metro.

#### **4.4 Montaje de empalmes y terminales**

Los empalmes y terminales serán ejecutados por personal técnico con amplia experiencia en este tipo de trabajos y siguiendo las instrucciones del fabricante.

#### **4.5 Protección y señalización de los cables**

##### **4.5.1 Solado de concreto**

En el fondo de la zanja, a lo largo de todo el recorrido se colocará un solado de concreto (cemento-hormigón), de 5 cm de espesor y que cubra todo el ancho de la zanja.

##### **4.5.2 Tierra especial**

Sobre el solado de concreto se aplicará una capa de arena especial de baja resistividad, de 15 cm de espesor, la cual deberá estar limpia, suelta, exenta de sustancias orgánicas y otras impurezas.

La resistividad térmica de esta arena no será mayor que  $100^{\circ}\text{C}\text{-cm/w}$ .

Los cables de energía se colocarán sobre la capa de arena descrita y sobre éstos se aplicará otra capa de arena de similares características de 30 cm de espesor, convenientemente compactada mediante herramientas mecánicas.

##### **4.5.3 Suministro y colocación de losetones de concreto**

Sobre la segunda capa de arena se colocarán losetones de concreto de las dimensiones y características indicadas en los planos de detalle.

Los losetones se instalarán uno o continuación del otro siguiendo longitudinalmente los ejes de los cables de energía.

Los cables-piloto para la protección diferencial del cable se instalarán debajo de los losetones y a una distancia de 20 cm de éstos.

#### 4.5.4 Colocación de la cinta señalizadora

Sobre la hilera de losetones de concreto se colocará una capa de 20 cm de tierra natural escogida y compactada mecánicamente. sobre esta capa se colocará una cinta plástica color rojo que servirá para señalar la presencia del cable.

#### 4.5.5 Relleno compactado

Una vez colocado el cable y las protecciones señaladas anteriormente, se rellenará toda la zanja con tierra de excavación escogida y luego compactada usando compactadores mecánicos de plancha. El relleno de las zanjas deberá hacerse por capas no mayores de 30 cm, las cuales serán compactadas y regadas si fuera necesario, con el fin de dar al terreno la consistencia requerida.

La tierra natural escogida para el relleno no deberá contener más de 30% de piedras cuya dimensión máxima sea mayor de 10 cm . Asimismo, deberá estar libre de todo material extraño al suelo, tales como raíces, trapos, cascotes, basura, etc. Si luego de escoger el material éste no alcanzara rellenar la zanja, será necesario obtener material de buenas características para completar el relleno. El Contratista será responsable de los hundimientos que se produzcan por la deficiente realización de esta operación y, por lo tanto serán de su cuenta las posteriores reparaciones que tengan que ejecutarse, y las multas que por tal razón apliquen las municipalidades y otras entidades oficiales.

#### **4.5.6 Retiro del desmante**

El material sobrante de la zanja debido al volumen introducido de cables, losetones de concreto, así como el esponjamiento del terreno, será retirado por el contratista y llevado a zonas receptoras de desmante.

El lugar de trabajo quedará libre de desmante y completamente limpio, siendo de cargo del contratista las sanciones impuestas por las autoridades por no haber eliminado oportunamente dicho desmante, o por impedir o molestar indebidamente la normal circulación de personas o vehículos.

#### **4.6 Reparación de pavimentos**

##### **4.6.1 Generalidades**

A medida que se terminen los trabajos de instalación de cables, se procederá a ejecutar las reparaciones definitivas de los pavimentos.

Los trabajos de reparación a ejecutar se refieren a:

Calzadas de concreto de cemento Portland de 6" de espesor como mínimo o igual al existente y de calidad. f'c 210 kg/cm<sup>2</sup> construidas sobre la base de material de afirmado compactado.

Calzadas de asfalto, consistente de una carpeta asfáltica en frío de 2" de espesor como mínimo, construida sobre una base de material de afirmado compactado y acondicionado.

Calzada mixta de asfalto con base de concreto de características iguales a lo indicado anteriormente.

Veredas de concreto de calidad  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ , de 4" de espesor total, acabadas con una capa de desgaste, en su parte superior de 0,015 m de espesor y mortero de proporción 1:2, y construida sobre un base previamente compactada.

#### **4.6.2 Garantía**

Todos los trabajos de reconstrucción de bases, calzadas y veredas serán objeto de garantía escrita por el contratista, contra asentamientos, depresiones, desmoronamientos, erosión de la superficie de rodamiento o cualquier otro defecto que ocurra por compactación defectuosa o vicios de construcción.

Esta garantía será vigente por el plazo que fija la Ley, contada a partir de la recepción definitiva de la obra.

El Contratista se obliga a reparar los daños por su exclusiva cuenta, así como a abonar al Propietario los trabajos que éste se viera obligado a ejecutar por razones de urgencia o seguridad, o por los requerimientos de las autoridades.

#### **4.6.3 Materiales**

##### **4.6.3.1 Concreto de cemento portland**

El uso de concreto premezclado será obligatorio en las reparaciones de calzadas (pistas). Para veredas se empleará obligatoriamente el concreto premezclado para dimensiones mayores a 50 m<sup>2</sup>.

En ambos casos el concreto premezclado será adquirido en las plantas de concreto prefabricado existentes.

En los casos especiales donde no se justifique el uso de concreto premezclado, previa aprobación de la Inspección, se permitirá la elaboración del concreto en el lugar de la obra con materiales (cemento y agregados), personal y equipo (mezcladora) adecuadas.

#### 4.6.3.2 Asfalto

El uso de asfalto preparado en plantas especiales será obligatorio en las reparaciones de calzadas de asfalto. La capa de imprimación será de tipo RC-2.

#### 4.6.4 Especificaciones de construcción

El Contratista se **regirá** a las siguientes especificaciones si emplea concreto premezclado o preparado en sitio.

##### 4.6.4.1 Calzadas de concreto

###### a) Materiales

Cemento Portland, arena, piedra y agua. Todos los agregados deberán cumplir con las especificaciones de la A.S.T.M.

El cemento usado en la obra será Portland normal tipo I, debiendo estar libre de grumos y no estar afectado por la humedad.

La arena será limpia, natural, de grano grueso, rugoso y resistente. Admitirá un 3% (en peso referido al agregado grueso) de arcilla u otras sustancias perjudiciales.

La piedra no será mayor de 1½" e igualmente que la arena, el porcentaje total de sustancias perjudiciales, en el agregado grueso, no pasará de 3% de peso. Deberá tener

una textura apropiada, estabilidad química, resistencia, durabilidad y dureza. Se utilizará piedra partida, no aceptándose el uso de agregado redondeado.

El agua no deberá contener sustancias vegetales, carbón, azufre, ni porcentajes apreciables de sulfatos, ácidos, azúcar o aceites.

En caso de necesidad, se hará empleo de acelerantes de fragua, tales como Poozolith o Sikacrete, quedando esto a criterio del supervisor de la obra.

#### **b) Calidad del concreto**

El pavimento se construirá en una sola capa de concreto. Se usará una mezcla de cemento Portland, arena y piedra partida con una resistencia mínima de 210 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días y con un slump no mayor de 0,05 m (2").

El concreto será mezclado de tal manera que se obtenga al final un producto uniforme en apariencia y con sus componentes íntimamente unidos y distribuidos. No deberán quedar vacíos, dentro de la mezcla, ni debajo de la superficie de la mezcla, para lo cual el Contratista hará uso de vibradores aplicados conveniente para obtener una perfecta compactación.

#### **c) Espesor de las pistas de concreto**

Tendrán un espesor mínimo de 0,15 m (6"), salvo aquellas zonas en que al efectuar el corte transversal el concreto tuviera un espesor mayor.

Todos los pavimentos deberán ser repuestos al nivel que tenían al ser levantadas y en correspondencia con el de las

superficies inmediatas, de tal manera que evite el impacto de las ruedas de los vehículos por diferencia de nivel.

Los paños de pavimentos repuestos deberán ser de sección regular y los bordes serán perfectamente alineados, eliminando irregularidades o dientes en la unión con el pavimento existente.

**d) Preparación de la subrasante**

El terraplén se construirá de manera que tenga una densidad uniforme, será compactado con plancha vibratoria mecánica, hasta alcanzar mínimo 95% de la densidad obtenida en el laboratorio por medio del proctor modificado.

Deberá ser bien regado 12 horas antes de que se efectúe el vaciado, a fin de que no absorba el agua de la mezcla, y deberá cuidarse que no se formen empozamientos de agua.

**e) Tratamiento de la juntas**

Se procederá a la eliminación de todo material suelto que no permita la perfecta adherencia entre el concreto antiguo y el nuevo, mediante la aplicación de aire comprimido y humedecimiento de la junta. Inmediatamente antes del vaciado se procederá al tratamiento de las juntas con lechada de cemento.

**f) Terminado de la superficie de pavimento**

La superficie de acabado de todo el concreto sera razonablemente suave y libre de grietas y protuberancias.

**g) Curado de concreto**

Se realizará con la finalidad de mantener una humedad y temperatura adecuadas, para así favorecer la hidratación

del cemento. Como curado inicial deberá usarse, transcurridos unas 3 ó 4 horas del vaciado, arroceras y un regado muy fino de agua. Transcurridas unas 12 horas de curado inicial, se procederá a la colocación de una capa de tierra, la cual se mantendrá constantemente húmeda.

El tiempo de curado no será menor de 12 días en el caso de emplearse concreto normal, ni menor de 2 días en el caso de emplearse concreto con acelerador de fragua.

#### **h) Protección del pavimento recién construido**

El Contratista estará obligado a colocar y conservar la cantidad de barreras o tranqueras y a mantener personal de vigilancia en cantidad suficiente para impedir el tránsito de peatones, animales o vehículos, sobre el pavimento recién construido y que se encuentren bajo curado.

Se colocarán luces y señales para indicar al público el desvío a seguir, o se instalará puentes reticulares cuando sea imprescindible el uso de la calzadas recientemente construidas.

#### **4.6.4.2 Calzada de macadán**

##### **a) Material**

Se colocará carpeta asfáltica en frío en todas aquellas zonas donde existiera y tendrá un espesor mínimo de 0,05 m (2"). El asfalto tendrá un grado de penetración de acuerdo con los requisitos de la A.S.T.M.

##### **b) Vaciado**

Antes de la llenada del concreto asfáltico, la capa de base preparada con anterioridad, será limpiada de toda

materia extraña, debiendo recibir previamente un tratamiento con material bituminoso líquido RC-2, calentado a temperatura adecuada y aplicado a presión con equipo especial, con el fin de unir las partículas superficiales y facilitar la adherencia entre la carpeta asfáltica y la superficie de la subrasante. Inmediatamente después de la aplicación del material bituminoso se procederá a distribuir el asfalto, extendiéndolo e impregnándolo con rastras, seguidamente el total de la superficie será compactado.

El compactado debe empezar en los filos y continuarse hacia el centro de la superficie y se repetirá hasta asegurar un entramado eficiente del asfalto y para asegurar una superficie uniforme.

#### **c) Juntas**

Las juntas entre el pavimento antiguo y el nuevo, serán realizadas cuidadosamente para asegurar la adherencia continua entre el viejo y el nuevo pavimento. Todas las juntas serán revisadas con regla y cualquier diferencia o irregularidad será inmediatamente corregida. La superficie que se hubiera cubierto de polvo, arena u otro material objetable, será limpiada cuidadosamente y revestida con material bituminoso.

#### **d) Capa de sellado**

Una vez colocada la carpeta asfáltica, se procederá a una aplicación de material bituminoso, seguida por la extensión de una capa de arena o gravilla con el fin de

protegerlo contra el envejecimiento y la acción excesiva del tráfico. El material bituminoso para la capa de sellado, será cemento asfáltico RC-2 (tipo de curado rápido).

Los agregados para cubrir serán limpios, sanos y durables y en el momento de su aplicación deberán encontrarse completamente secos.

#### **e) Protección**

No se permitirá tráfico en la superficie acabada por un período de 48 horas. Donde no sea posible evitar el tráfico durante ese tiempo, deberá restringirse a una velocidad máxima de 25 km/h durante 48 horas. Para este propósito el contratista deberá suministrar y mantener señales y luces de aviso adecuados.

#### **4.6.4.3 Reposición de veredas de concreto**

El parchado de las veredas será realizado, de bruña a bruña. El bruñado será realizado de acuerdo a la figura de la vereda original, salvo indicación de la Inspección.

La eliminación del desmonte proveniente del recuadro de las pistas y veredas deberá efectuarse antes del vaciado del concreto.

Al terminar el trabajo el Contratista efectuará la limpieza general de la zona afectada por los trabajos.

#### **a) Materiales**

Todo el cemento a emplearse deberá ser Portland normal tipo I. Deberá cumplir con las especificaciones de A.S.T.M.

El agregado fino deberá ser piedra partida, de grano duro y compacto. Deberá estar limpio de polvo, materia orgánica, y otra sustancia de carácter deletéreo. El tamaño deberá ser de 3/4".

El agua que se use para la preparación de la mezcla, deberá ser limpia, libre de cantidades perjudiciales de ácidos, alcális o materias orgánicas.

**b) Espesor**

Espesor mínimo 0,10 m (4"). Este espesor representa el total de la vereda de concreto terminada, incluyendo la segunda capa o mezcla rica para su acabado. La vereda de concreto comprende dos capas. La primera a base de concreto, tendrá un espesor de 0,085 m. La segunda de mortero, encima de la primera, tendrá un espesor mínimo de 0,015 m.

**c) Proporción de la mezcla**

Para la primera capa o base de la vereda, concreto de  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días. Para la segunda capa, mortero de cemento arena, proporción 1:2.

**d) Preparación de la superficie para el vaciado**

Estará constituido por el terreno natural, nivelado y compactado a humedad óptima, hasta alcanzar mínimo 90% de la densidad obtenida en el laboratorio por medio del proctor modificado.

**e) Vaciado**

Para la construcción de las losas, se colocarán, cuando sean necesarias; reglas de madera a fin de asegurar una

superficie uniforme y nivelada.

En el momento mismo y después del vaciado de concreto, éste deberá ser debidamente compactado por medio de herramientas adecuadas. Las acumulaciones de agua en la superficie del concreto, debidas al agua ganada por segregación o a otras causas, deberán ser eliminadas, entendiéndose que por ningún motivo se deberá vaciar concreto sobre dichas acumulaciones.

La capa de acabado (mortero) se aplicará como máximo 2 horas después y aún estando fresca y limpia la losa de concreto y el acabado de la superficie se asentará primero con paleta de madera.

## CAPITULO V PRESUPUESTO

### 5.1 Premisas

Para la elaboración del Presupuesto se han tomado en cuenta los siguientes criterios:

Los Costos FOB de los materiales y equipos de importación son del material o equipo en puerto del país fabricante y se han conseguido mediante cotizaciones recibidas de diversos fabricantes. Los costos consignados en el presupuesto corresponden a los promedios de éstas.

El precio CIF es igual al precio FOB mas el transporte marítimo y seguros.

El transporte marítimo y seguros es considerado un 10% del Precio FOB, los aranceles son el 15% del precio CIF y los gastos de aduana y descarga se consideran el 0,75% del precio CIF. Además se consideran gastos generales en moneda extranjera por concepto de supervisión de la importación y es considerado un 3% del precio CIF.

Todos estos valores de porcentajes se han obtenido de experiencias anteriores donde se han comprado equipos y materiales similares.

Los costos de obras civiles se han determinado mediante análisis de costos unitarios de materiales, mano de obra, equipo y herramientas vigentes al mes de Marzo 1 997.

Para la instalación del cable se ha tomado en cuenta los

análisis de precios mostrados en el acápite "E".

No se ha considerado el costo por transporte local en vista que será mínimo dado que los almacenes de la obra estarán ubicados a no más de 15 km del Puerto del Callao.

Se ha considerado un porcentaje de 12% para los gastos generales en moneda nacional que corresponden a los gastos del contratista que ejecutaría la obra y es un promedio de lo que está considerado en obras similares.

Las utilidades son el 10% de los gastos en moneda nacional y es la utilidad que percibiría el contratista al ejecutar la obra.

El impuesto general a las ventas (IGV) son el 18% de todos los gastos, sea en moneda nacional como en moneda extranjera.

El suministro de procedencia local, los aranceles, gastos de desaduanaje, obras civiles, obras electromecánicas, gastos generales, utilidades e impuesto general a las ventas, están valorizados en moneda nacional (Nuevos Soles).

El Presupuesto tiene fecha de Marzo de 1997 y el tipo de cambio utilizado es el siguiente:

1 U.S.\$ - S/. 2,65

## **5.2 Presupuesto**

A continuación se muestra el cuadro resumen del presupuesto y luego los cuadros detallados de todas las cantidades y sus precios.

# LINEA DE SUBTRANSMISION SUBTERRANEA 60 KV

## RESUMEN DEL PRESUPUESTO BASE

ITEM	DESCRIPCION	M.E.	M.N.	TOTAL M.E. EQUIV.
1,0	SUMINISTRO	806,12	4,48	807,81
2,0	TRANSPORTE MARITIMO Y SEGUROS	80,31		80,31
3,0	ARANCELES AD/CIF		352,36	132,96
4,0	GASTOS DE ADUANA Y DESCARGA		17,62	6,65
5,0	TRANSPORTE LOCAL			
6,0	OBRAS CIVILES		141,15	53,26
7,0	MONTAJE Y PUESTA EN SERVICIO		308,42	116,38
8,0	GASTOS GENERALES	26,59	53,95	46,95
9,0	UTILIDADES		50,35	19,00
10,0	TOTAL SIN IMPUESTOS	913,02	928,32	1 263,33
11,0	IMPUESTOS (I.G.V.)		602,61	227,40
12,0	TOTAL CON IMPUESTOS	913,02	1 530,93	1 490,73

**NOTAS.**

SUMINISTRO

ARANCELES

GASTOS DE ADUANA Y DESCARGA

GASTOS GENERALES (ME)

GASTOS GENERALES (MN)

UTILIDADES

IMPUESTOS (I G V )

TIPO DE CAMBIO

M E.

M N.

FECHA

FOB para fabricación extranjera

M N = 15,00 % CIF

M N = 0,75 % CIF

M E = 3,00 % CIF

Promedio del mercado = 12,00%(6,0+7,0)

M N = 10,00 % (5,0+6,0+7,0+8,0)

18,00 % (10,0)

1 US\$ = S/. 2,65

MONEDA EXTRANJERA EN MILES DE US\$

MONEDA NACIONAL EN MILES DE S/

30 de Marzo de 1 997



PRESUPUESTO BASE  
 LINEA DE SUBTRANSMISION SUBTERRANEA 60 KV  
 SECCION A SUMINISTRO Y MONTAJE ELECTROMECANICO

TIPO DE CAMBIO 1 US\$ = S/  
 Precio al 30-03-97

Tabla Nº 2

ITEM	DESCRIPCION	UN	3	4	PRECIOS UNITARIOS						PRECIOS TOTALES						SUB-TOTAL	TOTAL	
					5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			17
ME	ME	ME	MN	MN	MN	ME	ME	MN	MN	ME	ME	MN	MN	ME	MN	ME			
2.0	REPUESTOS																		
2.1	Cable subterráneo unipolar 35/60 kv, XLPE, 1 x 120 mm2	m		120		71,77	7,18												
2.2	Empalme recto completo para cable del ítem 3.1	U		3		3 200,00	320,00												
2.3	Terminal tipo exterior completo para cable del ítem 3.1	U		1		5 600,00	560,00												
2.4	Pararrayos de óxido metálico 54 kv	U		0		3 500,00	350,00												
2.5	Cable piloto para protección diferencial	m		50		3,00	0,30												
3.0	SUPERVISION ESPECIALIZADA																		
3.1	Supervision especializada por parte del fabricante para la instalación del cable, terminales y empalme	Glob		1		3 000,00													
					SUB TOTAL TABLA 2														
					0,00	28,96	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,36	
					4,48	806,12	80,31	0,00	308,42	886,43	312,90	1 004,50							



## CAPITULO VI CRONOGRAMA DE SUMINISTRO Y EJECUCION

### 6.1 Premisas

La programación de las obras ha sido hecha bajo las siguientes consideraciones:

Los plazos para la fabricación de los equipos de la línea corresponde al promedio de los ofertados por los proveedores cuyas cotizaciones se han recibido y se muestran en el acápite "A".

En lo referente a las obras civiles se han tomado como referencia los rendimientos promedios para las tareas de rotura de pistas y veredas, excavación de zanja, relleno de resane de pistas y veredas, realizadas dentro de áreas urbanas.

Se ha asumido que el cable subterráneo se empezará a instalar cuando todo este material se encuentre en almacén de obra. Sin embargo en coordinación con los fabricantes podría estudiarse la posibilidad de efectuarse embarques parciales a fin de acortar los plazos señalados.

Se asume también que el Contratista local que se encargue del montaje del cable y sus accesorios dispondrá de todos los equipos y herramientas para el adecuado tendido de éstos.

La presencia de un supervisor del fabricante para el montaje del cables es una posibilidad, pues podría resultar

más conveniente que el Cliente designe a un Ingeniero que pueda ser entrenado por el fabricante para los efectos de la supervisión y posterior operación y mantenimiento.

De todas maneras el contratista deberá contratar personal especializado para estos trabajos.

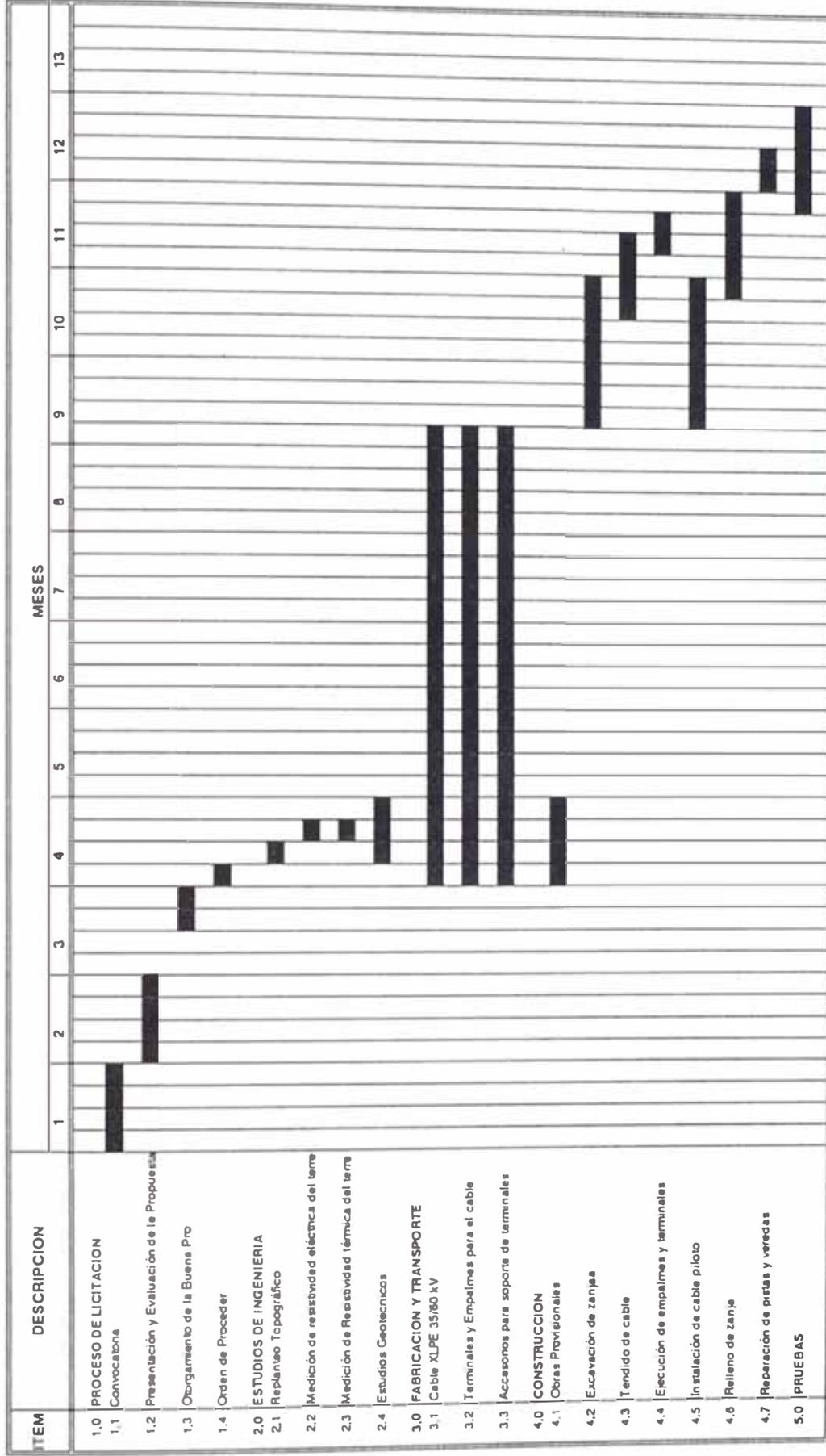
Los plazos que corresponden a las tareas de convocatoria a Licitación y otorgamiento de la buena pro son referenciales y tienen como base los plazos tomados por empresa privadas en proceso de selección de Contratistas.

## **6.2 Cronograma**

A continuación se muestra el cuadro del cronograma de suministro y ejecución de la línea de subtransmisión subterránea en 60 kV

**LINEA DE SUBTRANSMISION SUBTERRANEA 60 kV**

**CRONOGRAMA PARA EL SUMINISTRO Y CONSTRUCCION DE LA LINEA**



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### A. CONCLUSIONES

A.1 Debido a la existencia de otras líneas aéreas a la salida de la subestación Puente 60/10 kV, es que se tiene que iniciar el tramo de cualquier línea nueva en forma subterránea. Esto constituye el primer tramo subterráneo para cualquier línea futura que salga de la subestación Puente 60/10 kV de propiedad de la empresa "Luz del Sur".

A.2 Particularmente para este proyecto, existen otros tramos donde no pueden pasar una línea aérea por construcciones inadecuadas y además se debe tener en cuenta que los propietarios tienen la tendencia de no proyectar líneas aéreas dentro de sus terrenos, constituyendo otro tramo subterráneo.

A.3 Las dos premisas anteriores ayudan a concluir que hacia la carretera central, la única opción es una línea con cables subterráneos.

A.4 Luego de los cálculos de selección por capacidad de corriente, capacidad térmica y por caída de tensión se concluye que la mínima sección de conductor para este nivel de tensión es suficiente y podría ser 95 mm<sup>2</sup>, pero esta sección no es comercialmente ofrecida por los fabricantes y solo se utiliza para efectos de análisis, por lo tanto la sección comercial y técnicamente adecuada es de 120 mm<sup>2</sup>.

A.5 Luego de conocer la inversión total necesaria para una línea con cables subterráneos se observa que el costo es de aproximadamente 6,6 veces lo que costaría una línea aérea de la misma longitud y por el mismo recorrido.

#### **B. RECOMENDACIONES**

B.1 Las Grandes y medianas empresas deben tener muy en cuenta como se van a alimentar de energía eléctrica antes de definir el terreno y la ubicación de sus plantas de producción.

B.2 A la fecha se ha instalado 220 m de cable 66 kV en la subestación de ETECEN S.A. Paramonga Nueva y para el montaje del terminal de 66 kV (6 en total) se contrató un técnico especialista en este tipo de montaje y se observó que es uno de los pocos en el Perú con experiencia, por lo tanto es recomendable que las empresas que tienen la oportunidad de efectuar este tipo de proyectos incluir como parte del suministro un rubro que solicite la capacitación para el montaje de empalmes y terminales en este nivel de tensión.

## BIBLIOGRAFIA

1. Manual Técnico de Cables de Energía  
Condumex S.A. de C.V. MEXICO  
Industrial de Aislantes Eléctricos S.A. de C.V. MEXICO
2. Cables y conductores para transporte de energía  
Lothar Heinhold. SIEMENS.
3. Estudio de Factibilidad para el Suministro Eléctrico  
en 60 kV a la Cervecería Backus y Johnston S.A.  
CESEL S.A.
4. Cables subterráneos de 220 kV y 60 kV. Experiencias en  
el área de Lima.  
Ing. Duilio Ayaipoma  
ING. Enrique Dianderas
5. Norma DGE 019-T-3/1989.  
Dirección General de Electricidad - MEM
6. Precios en barra de subestaciones de media y alta  
tensión.  
Comisión de Tarifas Eléctricas.  
Resolución No 009-94 P/CTE
7. Norma ITINTEC 370.050
8. Código Nacional de Electricidad Tomo IV