

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOTERRADO EN MEDIO VOLTAJE CON CÁMARAS DE SECCIONAMIENTO TIPO ICEBERG

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo la
obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

Autor:

Bolívar Nicolás Yépez Gómez

Director:

Ing. Segundo Hernán Pérez Cruz

Ibarra – Ecuador

2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1002879656		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Yépez Gómez Bolívar Nicolás		
DIRECCIÓN:	Otavalo, San José de Quichinche Av. Quito e Isaac J. Barrera		
EMAIL:	bolo_652@yahoo.es		
TELÉFONO FIJO:	062668126	TELÉFONO MÓVIL:	0987069186

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOTERRADO EN MEDIO VOLTAJE CON CÁMARAS DE SECCIONAMIENTO TIPO ICEBERG
AUTOR (ES):	Bolívar Yépez
FECHA: DD/MM/AAAA	22 de Abril del 2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Hernán Pérez

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 22 días del mes de Abril de 2019

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Bolívar Yépez



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo, Yépez Gómez Bolívar Nicolás, con cédula de identidad N°. 100287965-6, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de autoría; y que este no ha sido previamente presentado en ningún grado o calificación profesional.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las Leyes de la Propiedad Intelectual, Reglamentos y Normativa vigente de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, 22 de Abril de 2019.

.....
Yépez Gómez Bolívar Nicolás

C.I.: 100287965-6



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

Que la Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico con el tema: METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOTERRADO EN MEDIO VOLTAJE CON CÁMARAS DE SECCIONAMIENTO TIPO ICEBERG, ha sido desarrollado y terminado en su totalidad por el Sr. Yépez Gómez Bolívar Nicolás, con cédula de identidad: 100287965-6, bajo mi supervisión para lo cual firmo en constancia.

Ing. Hernán Pérez, MSc.

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi Madre Inés, porque fue un pilar importante siendo la persona que siempre creyó en mí y estuvo a mi lado con su apoyo incondicional dándome fuerzas para culminar esta etapa de mi vida, y así poder cumplir este sueño tan anhelado.

Bolívar

AGRADECIMIENTO

Extiendo mi agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte por darme la oportunidad de ser parte de ella durante toda mi formación universitaria, en especial al Ingeniero Hernán Pérez quien fue mi director de tesis, el cual supo guiarme de la mejor manera con su paciencia y conocimientos.

De forma general agradezco también a todas las personas que de una u otra forma aportaron en el desarrollo y la culminación de este trabajo de grado.

Bolívar

TABLA DE CONTENIDO

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	II
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	II
DECLARACIÓN	III
CERTIFICACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
TABLA DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE CUADROS.....	XI
RESÚMEN	XIV
ABSTRACT.....	XV
A1. INTRODUCCIÓN	XVI
A2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XVII
A3. JUSTIFICACIÓN	XVII
A4. ALCANCE.....	XVIII
A5. VIALIDAD DEL TRABAJO	XIX
A6. OBJETIVO GENERAL.....	XIX
A7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	XIX
CAPÍTULO 1.....	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1 SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA	1
1.2 CENTRALES DE GENERACIÓN.....	1
1.3 SISTEMA DE TRANSMISIÓN	2
1.4 NIVELES DE VOLTAJE	2
1.5 SISTEMA DE SUBTRANSMISIÓN	2
1.6 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	3
1.6.1 Redes de distribución en medio voltaje o alimentadores primarios.	3
1.6.2 Redes de distribución en bajo voltaje o alimentadores secundarias.....	3
1.6.3 Transformadores de distribución	4
1.6.4 Alumbrado Publico	4
1.6.5 Acometidas	5
1.6.5.1 Acometidas en Medio Voltaje.....	5
1.6.6 Medidores.....	5
1.6.6.1 Tipos.....	6
1.6.7 Clasificación de los sistemas de distribución	6
1.6.8 Redes de distribución eléctrica según su ubicación geográfica.....	6
1.6.9 Redes de distribución urbana.	6
1.6.10 Redes de distribución rurales.	6
1.7 REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA SEGÚN SU TIPO DE CONSTRUCCIÓN.....	7
1.7.1 Redes de distribución aéreas.....	7
1.7.2 Redes de distribución subterráneas	7
1.8 CLASIFICACIÓN DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ACUERDO AL TIPO DE CARGAS.	7
1.8.1 Redes de distribución para cargas residenciales.	7
1.8.2 Redes de distribución para cargas comerciales	7
1.8.3 Redes de distribución para cargas industriales.....	8
1.9 TIPOS DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.	8

1.9.1	Sistema radial	8
1.9.2	Sistema Anillo	9
1.9.3	Sistema en red o mallado	9
1.10	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE REDES SUBTERRÁNEAS	10
1.10.1	Separadores de tubería:	10
1.10.2	En calzadas	11
1.10.3	Distancias de separación entre banco de ductos eléctricos y otros servicios:	11
1.10.4	Ancho de la zanja:	11
1.10.5	Cintas de señalización:	11
1.10.6	Ductos:.....	12
1.10.6.1	Ducto tipo HDPE.....	12
1.10.6.2	Ductos y tubería metálica en canalizaciones y transiciones:	13
1.10.7	Configuración de ductos:.....	13
1.10.8	Pozos	14
1.10.8.1	Dimensiones:.....	15
1.10.8.2	Tapas de hormigón:	17
1.11	CÁMARAS DE SECCIONAMIENTO	18
1.11.1	Centros o cámaras de seccionamiento según su construcción	18
	TIPO CONVENCIONAL O INTERPERIE.	18
	MONTAJE EN POSTE CON ABRAZADERAS.....	19
	MONTAJE EN POSTE CON REPISA O ABRAZADERAS.	19
	MONTAJE EN PÓRTICO.	19
	TIPO PEDESTAL.....	19
	A NIVEL DE SUELO EN LA SUPERFICIE:	20
1.11.2	Edificios subterráneos de Hormigón tipo ICEBERG	20
1.12	CELDA DE SECCIONAMIENTO	21
1.12.1	Clases de celdas	21
1.12.1.1	Celda Modular	22
1.12.1.2	Celda Compacta	22
1.12.1.3	Celda con aislamiento en vacío.....	22
1.12.1.4	Celda con aislamiento en gas SF6	22
1.12.2	Características generales de las celdas tipo FBX	22
1.12.2.1	Condiciones de operación.....	22
1.13	CONDUCTOR TIPO XLPE (CROSS-LINKED POLYETHYLENE)	23
1.14	CONDUCTOR EN MEDIO VOLTAJE TIPO ERP.	24
1.15	EMPALME DE RESINA PARA CONDUCTORES EN MEDIO VOLTAJE	25
1.16	EMPALME CONTRÁCTIL EN FRIO PARA MEDIO VOLTAJE	26
	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:	26
CAPÍTULO 2.....		27
DESARROLLO		27
2.1	INTRODUCCIÓN.....	27
2.2	MATERIALES:	27
2.3	METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOTERRADO EN MEDIO VOLTAJE	27
2.3.1	Determinación del área para la implementación del sistema.	27
2.3.2	Diseño esquemático del sistema eléctrico de distribución de Yachay	29
2.3.3	Excavación de zanjas.....	30
2.3.3.1	Excavación de zanjas, instalación y configuración de ductos	30
2.3.4	Conductor tipo ERP.....	31

2.3.5	Instalación del conductor	32
2.3.6	Terminales y Dispositivos de halado.....	33
2.3.6.1	Halador tipo ojo o tipo tornillo	34
2.3.6.2	Malla de halado.....	34
2.3.6.3	Presión lateral (P).....	35
2.3.6.4	Radios de curvatura	37
2.3.6.5	Porcentaje maximo de llenado de cables en ducto	37
2.3.6.6	Factor de corrección del peso (c).....	38
2.3.7	Cálculo de tensión de halado.....	38
	SECCIÓN RECTA.....	38
	TENSIÓN MECÁNICA EN CURVAS HORIZONTALES	39
2.3.8	Cajas de derivación y de empalmes.....	40
2.3.8.1	Diseño y características de las cajas de empalmes	40
2.3.8.2	Empalme de medio voltaje	41
2.3.9	Instalación del empalme en medio voltaje	42
2.3.9.1	Extracción de la cubierta	42
2.3.9.2	Introducción del empalme y conexión.....	43
2.3.9.3	Puesta a tierra del empalme en medio voltaje	44
2.3.10	Equipos y accesorios que conforman una cámara de seccionamiento subterránea tipo Iceberg.....	46
2.3.10.1	Elementos de una cámara de seccionamiento	46
	ENVOLVENTE.....	46
	ACCESOS.....	47
	MALLA DE PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR.....	47
	CESTA DE RECOGIDA DE RESIDUOS	48
2.3.10.2	Características técnicas.....	48
	GRADOS DE PROTECCIÓN	48
	ARCO INTERNO	49
	EQUIPOTENCIALIDAD.....	49
	ESTANQUEIDAD	49
	IMPERMEABILIDAD	50
2.3.10.3	Ubicación de las cámaras de seccionamiento.....	51
2.3.10.4	Excavación e instalación.....	53
2.3.10.5	Descripción de la cámara de seccionamiento	55
2.3.10.6	Introducción de los alimentadores de medio voltaje	56
2.3.10.7	Puesta a tierra de las cámaras de seccionamiento	57
2.3.11	Celdas de seccionamiento.....	59
	CELDA DE ENTRADA Y CELDA DE SALIDA (FBX- C)	59
	CELDA DE RECONEXIÓN DE BARRAS (FBX-SB)	59
	CELDAS PARA CARGA (FBX-CB)	59
2.3.11.1	Diseño general de las celdas para las cámaras de seccionamiento.	59
2.3.11.2	Cámaras de seccionamiento tipo A1, B1, B2, B3, D1:	59
2.3.11.3	Cámaras de seccionamiento tipo C1, D2:	60
2.3.11.4	Cámaras de seccionamiento tipo A2:.....	60
2.3.12	Relés de protección	61
2.3.12.1	Relé VAMP 300F.....	61
2.3.12.2	Comunicación.....	61
2.3.13	Sistema de comunicaciones de las cámaras de seccionamiento	62
2.3.13.1	Sistema Scada (supervisión, control y adquisición de datos).....	62

2.3.13.2	Elementos que conforman la Unidad terminal remota (RTU)	62
2.4	PRESENTACIÓN DE PRUEBAS	63
2.4.1	Ejemplo:	63
2.4.1.1	Factor de Corrección del peso:	63
2.4.1.2	Máxima tensión que soporta el conductor:	64
2.4.1.3	Calculo de halado del cable.....	64
CAPÍTULO 3	.....	75
RESULTADOS	.....	75
3.1	ALIMENTADORES Y EMPALMES	75
3.2	RECORRIDO DE LOS ALIMENTADORES.....	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	80
RECOMENDACIONES	.....	81
REFERENCIAS	.....	83
GLOSARIO	.....	86
ANEXOS	.....	88
ANEXO A		
TENSIÓN DE HALADO EN EL ALIMENTADOR A	.....	88
ANEXO B		
TENSIÓN DE HALADO EN EL ALIMENTADOR B	.....	90
ANEXO C	.....	93
TENSIÓN DE HALADO EN EL ALIMENTADOR C	.....	93
ANEXO D		
TENSIÓN DE HALADO EN EL ALIMENTADOR D	.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

FIG. 1.1 ESQUEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA.....	1
FIG. 1.2 ETAPAS DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.....	2
FIG. 1.3 SISTEMA RADIAL PARA UNA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.....	8
FIG. 1.4 SISTEMA RADIAL PARA UNA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.....	9
FIG. 1.5 SISTEMA DE RED O MALLA.....	9
FIG. 1.6 DISTANCIA Y SEPARACIÓN DE UN BANCO DE DUCTOS EN ACERA.....	10
FIG. 1.7 CINTA DE PRECAUCIÓN.....	12
FIG. 1.8 ESTRUCTURA DEL DUCTO TIPO TDP.....	13
FIG. 1.9 ESQUEMA DE LA CANALIZACIÓN DE TUBERÍAS.....	14
FIG. 1.10 DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS DE UN POZO TIPO E.....	16
FIG. 1.11 TAPA DE POZO TIPO “B”.....	17
FIG. 1.12 ORIFICIOS DE TAPAS DE POZO TIPO “B”.....	17
FIG. 1.13 TIPO DE BROCAL METÁLICO Y PERFIL ANGULAR.....	18
FIG. 1.14 CENTRO DE TRANSFORMACIÓN TIPO INTERPERIE.....	19
FIG. 1.15 CÁMARA DE SECCIONAMIENTO A NIVEL DEL SUELO O TIPO PADMOUNTED.....	19
FIG. 1.16 EDIFICACIÓN PARA UNA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO.....	20
FIG. 1.17 CÁMARA DE SECCIONAMIENTO TIPO ICEBERG, CON VENTILACIÓN HORIZONTAL.....	21
FIG. 1.18 PARTES DE UNA CELDA DE SECCIONAMIENTO.....	21
FIG. 1.19 PROTECCIÓN IP 67 ANTI INUNDACIÓN DE UNA CELDA TIPO FBX.....	23
FIG. 1. 20 ESTRUCTURA DE UN CONDUCTOR DE MEDIO VOLTAJE TIPO XLPE.....	24
FIG. 1.21 ESTRUCTURA DEL CONDUCTOR TIPO ERP.....	25
FIG. 1.22 EMPALME PARA MEDIÓ VOLTAJE CON RESINA EPÓXICA.....	25
FIG. 1.23 EMPALME CONTRÁCTIL PARA MEDIO VOLTAJE.....	26

Capítulo 2

FIG. 2.1 DISTRITOS DE LA CUIDAD DE YACHAY.....	28
FIG. 2.2 DISEÑO ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE LA CUIDAD DE YACHAY.....	29
FIG. 2.3 DUCTOS TIPO HDPE.....	30
FIG. 2.4 INSTALACIÓN DE LOS DUCTOS CON SUS RESPECTIVOS SEPARADORES.....	31
FIG. 2.5 CORTE TRANSVERSAL DEL CONDUCTOR TIPO EPR DE CALIBRE # 2.....	32
FIG. 2.6 CORTE TRANSVERSAL DEL CONDUCTOR TIPO EPR DE CALIBRE # 2.....	32
FIG. 2.7 HALADOR TIPO OJO O TIPO TORNILLO.....	34
FIG. 2.8 MALLA DE HALADO.....	35
FIG. 2. 9 PRESIÓN LATERAL DEL CONDUCTOR.....	36
FIG. 2.10 RADIO DE CURVATURA DE DUCTOS.....	36
FIG. 2.11 RADIO DE CURVATURA DEL CONDUCTOR.....	37
FIG. 2.12 FACTOR DE CORRECCIÓN DE PESO.....	38
FIG. 2.13 DISEÑO DE UNA CAJA DE DERIVACIÓN.....	41
FIG. 2.14 EMPALME EN MEDIO VOLTAJE.....	41
FIG. 2.15 DISEÑO DE UNA CAJA DE DERIVACIÓN.....	42
FIG. 2.16 MEDIDAS PARA EL CORTE DE LAS CAPAS DE AISLAMIENTO DEL CONDUCTOR.....	42
FIG. 2.17 INSTALACIÓN DEL CONECTOR TORQUIMÉTRICO.....	43
FIG. 2. 18 VERIFICACIÓN DE MEDIDAS.....	44
FIG. 2.19 INSTALACIÓN DE LA PUESTA A TIERRA DEL EMPALME.....	44

FIG. 2.20 ACABADO FINAL DE UN EMPALME TERMO CONTRAÍBLE.....	45
FIG. 2.21 CONEXIÓN PUESTA A TIERRA DE UN EMPALME.	45
FIG. 2.22 CÁMARA DE TRANSFORMACIÓN SUBTERRÁNEA TIPO ICEBERG.....	46
FIG. 2.23 ENVOLVENTE DE UNA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO PARA DOS TRANSFORMADORES.	47
FIG. 2.24 ACCESO (PUERTAS).....	47
FIG. 2.25 VISTA INTERIOR DE LAS CÁMARAS.....	48
FIG. 2.26 CESTA DE RECOGIMIENTO DE RESIDUOS.....	48
FIG. 2.27 ENSAYO DEL ARCO INTERNO.....	49
FIG. 2.28 SISTEMA DE VENTILACIÓN, RECUPERACIÓN DE AGUAS FLUVIALES Y DESAGÜES.	50
FIG. 2.29 SISTEMA ROXTEC.....	50
FIG. 2.30 UBICACIÓN DE CÁMARAS DE SECCIONAMIENTO PARA DISTRITOS 1 Y 3.....	52
FIG. 2.32 ZONAS DE SERVICIO ASIGNADAS PARA CADA CÁMARA DE	53
FIG. 2.31 ZONA DE SERVICIO ASIGNADA PARA LA CÁMARA C-1 – DISTRITO 3.	53
FIG. 2.33 INSTALACIÓN DE UNA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO.	54
FIG. 2.34 ESPACIO ÓPTIMO PARA LA INSTALACIÓN.....	54
FIG. 2.35 MEDIDAS GENERALES DE LAS CÁMARAS DE SECCIONAMIENTO.....	55
FIG. 2.36 DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO.....	55
FIG. 2.37 PUNTOS DE MANIPULACIÓN.....	56
FIG. 2.38 ACCESO PARA INTRODUCCIÓN DEL CONDUCTOR.....	56
FIG. 2.39 INSTALACIÓN DEL CONDUCTOR.....	57
FIG. 2.40 ESQUEMA GENERAL DE UNA MALLA A TIERRA.	58
FIG. 2.41 DIAGRAMA UNIFILAR DE LA CONEXIÓN DE CELDAS EN LAS CÁMARAS A1, B1, B2, B3.	60
FIG. 2.42 DIAGRAMA UNIFILAR DE LA CONEXIÓN DE CELDAS EN LAS CÁMARAS C1, D2.....	60
FIG. 2.43 DIAGRAMA UNIFILAR DE LA CONEXIÓN DE CELDAS EN LAS CÁMARAS A2.....	61
FIG. 2.44 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO.....	63
FIG. 2.45 RECORRIDO DEL ALIMENTADOR B DESDE EL INTERIOR DE LA SUBESTACIÓN YACHAY.	64
FIG. 2.46 CURVATURA DEL PUNTO B.....	65
FIG. 2.47 DISTANCIA DEL PUNTO B AL C.	65
FIG. 2.48 CURVATURA DEL PUNTO C.....	66
FIG. 2.49 DISTANCIA DEL PUNTO C AL D.....	66
FIG. 2.50 RECORRIDO DEL ALIMENTADOR B DESDE LA SUBESTACIÓN YACHAY HASTA LA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO B - 1.....	67
FIG. 2.51 RECORRIDO DEL ALIMENTADOR B DESDE LA SUBESTACIÓN YACHAY HASTA EL PUNTO 1.	67
FIG. 2.52 CURVATURA DEL PUNTO 1.....	67
FIG. 2.53 DISTANCIA ENTRE EL PUNTO 1 AL PUNTO 2.....	68
FIG. 2.54 CURVA EN EL RECORRIDO DEL ALIMENTADOR B.	69
FIG. 2.55 CURVA PARA EL CÁLCULO DESDE EL PUNTO 2 AL PUNTO 3.....	70
FIG. 2.56 RECORRIDO DESDE EL PUNTO 3 AL PUNTO 4.....	71
FIG. 2.57 CURVA EN EL RECORRIDO DEL ALIMENTADOR B.	71
FIG. 2.58 UBICACIÓN DEL EMPALME.....	72
FIG. 2.59 DIRECCIÓN PARA EL CÁLCULO DE LA TENSIÓN DE HALADO.....	73
FIG. 2.60 CURVA DEL PUNTO 4.....	73

Capítulo 3

FIG. 3.1 RECORRIDO DEL ALIMENTADOR A.....	76
FIG. 3.2 RECORRIDO DEL ALIMENTADOR B.....	77
FIG. 3.3 RECORRIDO DEL ALIMENTADOR C.....	77
FIG. 3.4 RECORRIDO DEL ALIMENTADOR D.....	78

ÍNDICE DE CUADROS

Capítulo 1

TABLA 1.1 NIVELES DE VOLTAJE EN REDES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIAS.	4
TABLA 1. 2 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN NORMALIZADOS.....	4
TABLA 1.3 CLASIFICACIÓN DE ESTRATOS DE CONSUMO.	7
TABLA 1.4 LISTADO DE MATERIALES	10
TABLA 1.5 PROFUNDIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE LOS DUCTOS.	11
TABLA 1.6 CALIBRE Y TIPO DE CANALIZACIÓN.....	13
TABLA 1.7 CONFIGURACIÓN DE DUCTOS.....	13
TABLA 1.8 DIMENSIÓN Y TIPOS DE POZOS.	15
TABLA 1. 9 LISTADO DE MATERIALES.....	16

Capítulo 2

TABLA 2.1 PROYECTOS DE CADA DISTRITO DE LA CIUDAD DE YACHAY.....	28
TABLA 2.2 DEMANDA DE CADA DISTRITO DE LA CIUDAD DE YACHAY.	29
TABLA 2.3 PRESIÓN LATERAL DEL CONDUCTOR.	37
TABLA 2.4 PORCENTAJE MÁXIMO DE LLENADO EN DUCTOS.....	37
TABLA 2.5 MEDIDAS PARA EL CORTE DEL CONDUCTOR.	43
TABLA 2.6 DISTRIBUCIÓN DE MICROÁREAS PARA CÁMARAS DE SECCIONAMIENTO – DISTRITO 1.....	51
TABLA 2.7 MICROÁREAS PARA LA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO C1 – DISTRITO 3.....	51
TABLA 2.8 CÁMARA DE SECCIONAMIENTO ASIGNADA A CADA ZONA.	52
TABLA 2.9 UBICACIÓN DE LAS CÁMARAS DE SECCIONAMIENTO.....	52
TABLA 2. 10 TIPOS DE CELDAS Y MEDIDAS DE LAS CELDAS DE SECCIONAMIENTO.	59

Capítulo 3

TABLA 3.1 CANTIDAD DE CONDUCTOR PARA LA CIUDAD DE YACHAY.	75
TABLA 3.2 CANTIDAD TOTAL DEL CONDUCTOR ALIMENTADOR A.....	78
TABLA 3.3 CANTIDAD TOTAL DEL CONDUCTOR ALIMENTADOR B.....	78
TABLA 3.4 CANTIDAD TOTAL DEL CONDUCTOR ALIMENTADOR C.....	79
TABLA 3. 5 CANTIDAD TOTAL DEL CONDUCTOR ALIMENTADOR D.....	79
TABLA 3.6 CANTIDAD TOTAL DEL CONDUCTOR, EMPALMES Y CÁMARAS DE SECCIONAMIENTO.	79

RESÚMEN

El siguiente trabajo está elaborado para sustentar una metodología para la instalación de este nuevo sistema soterrado en medio voltaje con cámaras de seccionamiento tipo Iceberg, la cual nos con lleva a optimizar todas las ventajas que pueden brindarnos estos equipos de vanguardia, al tener una metodología se reduce los diferentes recursos tanto económicos como el tiempo invertido en este tipo de construcción, a su vez nos servirá para definir el uso adecuado de herramientas y el buen desempeño de procesos, mejorando la vida útil de los equipos que conforman estas redes. Este trabajo se realizó basándose a las normas y estándares constructivos vigentes en los diferentes entes reguladores. En la actualidad en nuestro país se está innovando en la implementación de nuevos equipos para tener una mayor capacidad y funcionamiento para redes de distribución eléctrica, ya que la energía eléctrica se ha convertido en un pilar importante para el desarrollo tanto el campo industrial como en el diario vivir, por lo cual este trabajo será un aporte para mejor la interpretación de este proceso de metodología. El trabajo descrito está conformado de los siguientes capítulos: Capítulo I el cual comprende todo el marco teórico, siendo esta la base primordial para conocer las características técnicas de los elementos y equipos, también todos los conceptos de los temas que se plasman en todo este trabajo. El Capítulo II comprende lo referente al desarrollo de todo este tema de investigación, basándose al cumplimiento de los objetivos planteados en el tema de trabajo, en el capítulo mencionado se puede encontrar los diferentes procesos de instalación de los equipos y materiales que constituyen este tipo de construcción, a su vez se realizó pruebas para dar convicción de esta investigación. En el Capítulo III se puede conocer todos los resultados obtenidos en este proceso de investigación. La siguiente parte abarca las conclusiones y recomendaciones en base al desarrollo del tema, al final se detalla la parte bibliográfica y anexos que nos sirven como apoyo documental del trabajo.

“Palabras Claves” Iceberg, Vanguardia, Metodología, Medio Voltaje, Distribución Eléctrica.

ABSTRACT

The next assignment is elaborated to support a methodology for the installation of this new system half-voltage underground with Iceberg type sectioning cameras, which leads us to optimize which help us to optimize all the advantages that can give us these vanguard equipment, with a methodology reduce different resources both economic and the time invested in this type of construction, at the same time it will help us to define the appropriate use of tools and the good performance of processes improving the useful life of the equipment that make up these networks. This work was done based on the constructive standards in force in the different regulatory entities.

Currently our country is innovating in the implementation of new equipment to have a greater capacity and operation for electricity distribution networks, since electric energy has become an important support for the development the industrial field as well as the daily life that is why this work will be a contribution to improve this methodology process. The assignment described is made up of the following chapters: Chapter I which includes all the theoretical framework, this being the fundamental basis to know the technical characteristics of the elements and equipment, also all the concepts of the themes that are reflected in all this investigation. Chapter II comprises the development of this whole research topic, based on the fulfillment of the objectives set in the topic of work, in the chapter mentioned you can find the different processes of installation of equipment and materials that constitute this type of construction, also tests were done to give conviction of this investigation. In Chapter III you can know all the results obtained in this research process. The following part includes the conclusions and recommendations based on the development of the topic, in the end the bibliography and annexes that help as documentary support.

"Key words" Iceberg, Vanguard, Methodology, Medium Voltage, Distribution Electrical.

A1. INTRODUCCIÓN

La distribución de energía eléctrica ha evolucionado a través de los años, desde los conceptos iniciales y las discusiones sobre el uso de la corriente alterna o la corriente directa hasta el avance tecnológico de las maquinas eléctricas y las diferentes fuentes de generación de energía eléctrica. (Narváez Yonathan 2012).

Un sistema eléctrico de potencia incluye las etapas de generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica, su función primordial es la de llevar esta energía desde los centros de generación hasta los centros de consumo y por último entregarla al usuario en forma segura y con los niveles de calidad exigidos. (Ramírez S. 2004)

En la actualidad la energía eléctrica se ha transformado en uno de los pilares importantes para el desarrollo tanto en el campo industrial como en el campo domiciliario, la distribución de la energía eléctrica en la actualidad requiere de equipamiento estético que reemplace las líneas aéreas en donde se soportan gran cantidad de cables, por un sistema de distribución soterrado para que se elimine la contaminación visual ya que este es uno de los servicios básicos más primordiales en el diario vivir.

El problema de la distribución es diseñar, construir, operar y mantener el sistema de distribución que proporcionará el adecuado servicio eléctrico al área de carga a considerarse, tomando en cuenta la mejor eficiencia en operación. Desafortunadamente, no cualquier tipo de sistema de distribución puede ser empleado económicamente hablando en todas las áreas por la diferencia en densidad de carga, por ejemplo: no aplica el mismo sistema para una zona industrial que una zona rural debido a la cantidad de carga consumida en cada uno de ellos; también, se consideran otros factores, como son: la planta de distribución existente, la topografía, etcétera. (Electrical Engineering Portal 2007)

Con el desarrollo e innovación de nuevas tecnologías se ha visto en la necesidad de construir sistemas de distribución eléctrica que sean altamente confiables para satisfacer la demanda en ciudades que van en un alto crecimiento poblacional, surgiendo así la implementación de equipos que están diseñados de una forma compacta que conforman las cámaras de transferencias subterráneas tipo iceberg brindando así gran confiabilidad en el servicio de suministro de energía eléctrica y a su vez siendo estos equipos utilizados en países industrializados.

El sistema de distribución debe proveer servicio con un mínimo de variaciones de tensión y el mínimo de interrupciones, debe ser flexible para permitir expansiones en pequeños incrementos así como para reconocer cambios en las condiciones de carga con un mínimo de modificaciones y gastos. (Electrical Engineering Portal 2007)

En la actualidad se está innovando en la construcción de los sistemas de distribución eléctrica mediante cámaras de seccionamiento soterradas tipo Iceberg, sistema que será implementado en la ciudad del conocimiento "Yachay" siendo esta una de las inversiones tecnológicas con equipos más modernos dentro de la distribución eléctrica para estar acorde a la evolución Científica - Tecnológica.

Por este motivo se ha visto la necesidad de sustentar una metodología para la implementación de un sistema soterrado en medio voltaje con cámaras de seccionamiento tipo Iceberg (Cámara de seccionamiento subterránea prefabricada de hormigón).

A2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Ecuador se tiene establecido procedimientos y metodologías para la construcción y la implementación de redes aéreas de media y bajo voltaje, sin embargo se requiere establecer metodologías para realizar la implementación de esta nueva red de distribución eléctrica soterrada con cámaras de seccionamiento tipo Iceberg, mejorando la parte estética de la ciudad del conocimiento "Yachay".

Tener una correcta metodología para implementar esta nueva red de distribución eléctrica optimizara el proceso de instalación y a su vez el tiempo de vida útil de este sistema reduciendo la interrupción del suministro eléctrico, y restableciendo la energía a sus usuarios.

En vista que este sistema de distribución eléctrica soterrado es nuevo en el medio, es necesario establecer una metodología para su implementación aprovechando ventajas técnicas de los nuevos equipos para su óptimo funcionamiento.

PROBLEMA

¿Cómo desarrollar la metodología para la implementación de un sistema soterrado en medio voltaje con cámaras de seccionamiento tipo Iceberg?

A3. JUSTIFICACIÓN

Con este trabajo de grado, se elaborara una metodología para la implementación de un sistema soterrado en medio voltaje con cámaras de seccionamiento tipo iceberg, el cual será implementando en la ciudad del conocimiento "Yachay", con lo que se podrá mantener la disponibilidad de los equipos que conforman dicha red y su operatividad.

Al tener una metodología para la implementación de un sistema soterrado en medio voltaje con cámaras de seccionamiento tipo Iceberg, nos ayudara a resolver interrogantes que se suelen presentar en la parte de construcción de este nuevo sistemas de distribución, optimizando procesos y parámetros que garanticen el resultado del trabajo a realizar.

A su vez nos servirá para definir un uso adecuado de herramientas y equipos que brinden un aporte en la construcción e implementación de este sistema, de acuerdo al informe final que se puede proporcionar como resultado del trabajo realizado en campo.

La modernización de este nuevo sistema de distribución soterrado en medio voltaje, conlleva a adquirir conocimientos que complementen la operación y el mantenimiento de este nuevo sistema.

A4. ALCANCE

Mediante el trabajo de grado realizado se obtendrá una metodología para la implementación de un sistema soterrado en medio voltaje con cámaras de seccionamiento tipo iceberg, con la cual se podrá realizar los adecuados procesos para la instalación y alimentación de los equipos y componentes que comprenden todo este sistema de distribución eléctrica de la ciudad del conocimiento "Yachay" aportando para un buen desarrollo del trabajo desempeñado del personal técnico.

La metodología para la implementación de este nuevo sistema partirá desde la salida de la subestación eléctrica, que se encuentra localizada en la jurisdicción que corresponde a la ciudad de "Yachay", se trazara una ruta de la troncal principal la cual alimentara a los Distritos 1,3 y la zona industrial de la ciudad, en donde estarán ubicadas las cámaras de seccionamiento tipo iceberg teniendo en cuenta una proyección de demanda futura, las mismas que servirán para distribuir, transformar o interconectar la energía eléctrica.

Para la metodología óptima en la implementación de este nuevo sistema de distribución eléctrica se describirán a continuación los equipos y componentes tanto como en el recorrido de los alimentadores principales y todos los componentes que conforman las cámaras de seccionamiento de este sistema los cuales son:

- Conductor en aluminio tipo EPR. (Caucho Etileno- Propileno, termo endurecible).
- Empalme auto contraíble en medio voltaje.

Cámaras de seccionamiento tipo Iceberg las cuales comprenden en su interior:

- Celdas de seccionamientos.
- Relé Inteligente.
- Transformador de servicios auxiliares.
- Equipos de bajo voltaje propias de la cámara.
- Sistema de Comunicación

A5. VIALIDAD DEL TRABAJO

Disevsa empresa proveedora de los nuevos equipos de este nuevo sistema en medio voltaje en la ciudad de "Yachay" tiene la predisposición de entregar y facilitar toda la información necesaria para desarrollar el tema de tesis y EMELNORTE a quien se le transferirá los sistemas requiere tener una metodología para tener conocimiento de este nuevo sistema de distribución ya que esta empresa se encargara de la operación y el mantenimiento como resultado de un sistema de distribución más confiable.

A6. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar la metodología para la implementación de un sistema soterrado en medio voltaje con cámaras de seccionamiento tipo Iceberg.

A7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar las características técnicas de los equipos y componentes que conforman la red en medio voltaje.
2. Realizar un estudio bibliográfico sobre las diferentes metodologías para de redes de distribución.
3. Elaboración de la metodología para la implementación de este nuevo sistema soterrado en medio voltaje con cámaras de seccionamiento.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Sistema Eléctrico de Potencia

El sistema eléctrico de potencia (SEP). está compuesto de las siguientes etapas: generación y transmisión, su función esencial es la de transportar la energía desde los centros de generación por medio de alimentadores y sub estaciones eléctricas, por último ser proporcionada al usuario para beneficio del consumidor en forma segura en condiciones eficientes y de calidad (Ramírez, 2004).

En la siguiente figura: 1.1 se indica un esquema eléctrico de potencia.

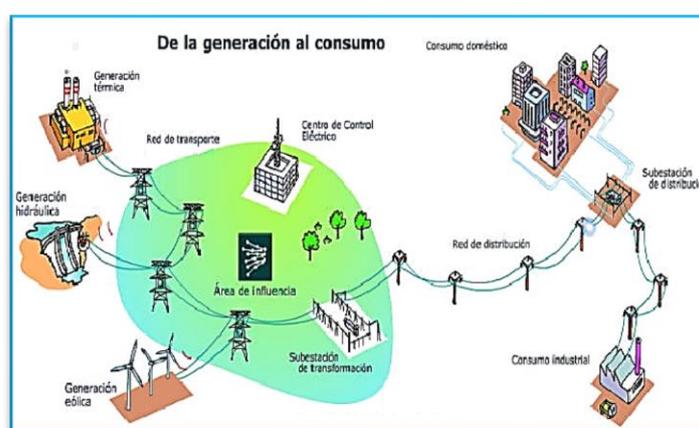


Fig. 1.1 Esquema Eléctrico de Potencia.
Fuente: <https://suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=6548>

1.2 Centrales de Generación

“La Central o Estación Eléctrica constituye el centro de generación de energía eléctrica en los sistemas eléctricos de potencia. Dependiendo de la función de la central, del tipo de corriente que generen, o de la clase de energía primaria que transformen” (Núñez, 2015, p1).

Para la producción de la energía eléctrica existen dos tipos de energías las que son primarias y secundarias.

La energía primaria se la puede extraer del entorno natural ejemplo:

- a) Energía no renovable: combustibles fósiles, carbón, gas GLP.
- b) Energía renovable: sol, agua, viento etc.
- c) Residuos: biomasa o cuerpos en descomposición

La energía secundaria se transforma a base de la energía primaria, ya que se utiliza combustibles renovables, o no renovables, obteniendo como resultado la energía eléctrica denominada como energía útil. (Jiménez, 2018).

En la figura: 2 se indica las etapas de una central hidroeléctrica para la generación de energía eléctrica.

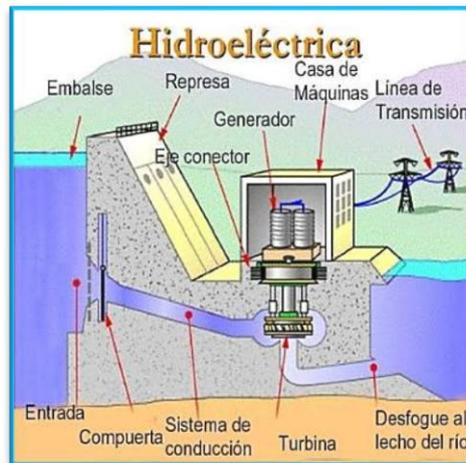


Fig. 1.2 Etapas de una central Hidroeléctrica.

Fuente: <http://biogeomundo.blogspot.com/2012/03/centrales-hidroelectricas-ecologicas-o.html>

1.3 Sistema de Transmisión

“Es el conjunto de dispositivos para transportar o guiar la energía eléctrica desde una fuente de generación a los centros de consumo o cargas. Estos son utilizados normalmente cuando no es costeable producir la energía eléctrica en los centros de consumo o cuando afecta el medio ambiente (visual, acústico o físico), buscando siempre maximizar la eficiencia, haciendo las pérdidas por calor o por radiaciones las más pequeñas posibles” (Chasiloa & Ortega, 2013, p.3).

En el sistema de transmisión a nivel nacional en Ecuador se maneja voltajes de 500kV, 230kV, 138kV.

1.4 Niveles de voltaje

Según la regulación número 005/17 de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) los niveles de electricidad se clasifican en:

- **Bajo Voltaje:** Voltaje menor igual a 0.6 kV;
- **Medio Voltaje:** Voltaje mayor a 0.6 y menor igual a 40 kV;
- **Alto voltaje grupo 1:** Voltaje mayor a 40 y menor igual a 13.8 kV;
- **Alto voltaje grupo 2:** Voltaje mayor a 13.8 kV.

1.5 Sistema de subtransmisión

Son los circuitos o las líneas energizadas que salen de las subestación (SE) principales para alimentar al sistema eléctrico de distribución.

La empresa regional norte (Emelnorte) tiene líneas de subtransmisión a un nivel de voltaje de 69 kV. para conectar sus subestaciones de distribución y de 34.5kV. para conectar sus propias centrales de generación.

1.6 Sistemas de distribución

El sistema de distribución de energía eléctrica es el conjunto de redes primarias, transformadores de distribución, redes secundarias, equipos de maniobra y regulación incluidos los accesorios de las canalizaciones eléctricas, este sistema recibe la energía para ser distribuida al consumidor en diferentes niveles de voltajes requeridos dependiendo del tipo de consumo (Ordoñez & Nieto, 2010).

La efectividad del sistema se lo puede determinar dependiendo de su confiabilidad, continuidad del servicio, capacidad de adaptación a diferentes cambios según el crecimiento poblacional, eficacia y costo en la construcción, este sistema de distribución está constituido por conductores, estructuras, aisladores, equipos, maniobra, etc., destinados a conectarse eléctricamente a las fuentes de energía y los abonados (Ordoñez & Nieto, 2010). Los sistemas de distribución están conformado por:

- Red de distribución en medio voltaje o alimentadores primarios.
- Red de distribución en bajo voltaje o alimentadores secundarios.
- Transformadores de distribución
- Alumbrado Publico
- Acometidas
- Equipos de medición

1.6.1 Redes de distribución en medio voltaje o alimentadores primarios.

Los alimentadores primarios son destinados para transportar la energía eléctrica desde una subestación de distribución (S/E) hasta los transformadores de distribución, mediante conductores eléctricos los cuales van soportados en postes cuando son redes aéreas y en canalizaciones cuando se trata de instalaciones subterráneas. (Valle, 2016).

Los niveles de voltaje que manejan (Emelnorte) en alimentadores, líneas y redes primarias de distribución son: 13.8 kV. y una mínima parte que comprende el centro de la ciudad en 6.3 kV. y están constituido por uno dos o tres conductores de fase y un conductor de neutro sólidamente puesto a tierra desde la S/E de distribución (Emelnorte, Normas de redes).

1.6.2 Redes de distribución en bajo voltaje o alimentadores secundarias

La red de distribución secundaria es aquella diseñada para alimentar la energía eléctrica al consumidor final o abonado desde la salida de baja tensión de los de (transformadores)

mediante una acometida eléctrica. En esta red se encuentra también instalado el servicio de alumbrado público (Pérez, 2012).

En la tabla 1.1 se muestra los niveles de voltaje de servicio utilizados por (Emelnorte)

TABLA 1.1 Niveles de voltaje en redes de distribución secundarias.

NIVELES DE VOLTAJE EN REDES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIAS	
Circuitos secundarios trifásicos (V)	220/127
Circuitos secundarios monofásicos(V)	240/120

Fuente: Empresa Regional Norte (Emelnorte). Dirección de Planificación.

1.6.3 Transformadores de distribución

Los transformadores de distribución son los equipos eléctricos que comprenden entre la red de medio voltaje y bajo voltaje, el cual está diseñado para reducir los voltajes del primario a través de la salida secundaria del mismo y suministrar la energía eléctrica necesaria en niveles apropiados que son utilizados en las residencias, comercios e industrias a través de una acometida (Valle, 2016).

Los transformadores trifásicos serán convencionales y los transformadores monofásicos serán tipo convencional y autoprotegido; La potencia de los transformadores de distribución a considerar para la instalación deberá corresponder a los valores normalizados por la Empresa Regional Norte (Emelnorte). que se muestran en la tabla 1.2.

TABLA 1. 2 Transformadores de Distribución normalizados.

VOLTAJE NOMINAL		NUMERO FASES	POTENCIA NOMINAL
MT (kV)	BT (V)		
13.2	220/127	3	30,50,75,100
13.2/7.6	240/120	1	5,10,15,25,37.5,50,75

Fuente: Empresa Regional Norte (Emelnorte). Dirección de Planificación.

1.6.4 Alumbrado Publico

Estos circuitos están alimentados por la salida o secundario de un transformador de distribución.

Para el control del alumbrado público en redes de distribución se emplea un hilo piloto para las redes aéreas convencionales, para redes con conductor preensamblado se utilizara una fotocélula que está incorporada en la misma luminaria; estas instalaciones se las puede encontrar en vías de primer orden, segundo orden y tercer orden, locales, cruces, plazas, parques, etc.

Para las zonas urbanas en las cuales se considere alumbrado público, la postería se instalara en vanos no superiores a los 35 mts; y el conductor que se debe instalar no debe ser menor al calibre N. 4 AWG tipo ASC.

El tipo de luminaria que se debe emplear en todos los casos de alumbrado público deben ser de vapor de sodio de alta presión, y en los caso de luminaria ornamental se definirá en forma conjunto entre el personal de Emelnorte y el constructor (Emelnorte Normas de redes).

1.6.5 Acometidas

Es la conexión de la red de distribución de la empresa suministradora y el abonado, que puede ser en una residencia o edificación dependiendo de su demanda esta conexión será en medio voltaje o bajo voltaje.

Los niveles de voltaje que maneja la empresa regional norte (Emelnorte) para realizar estas acometidas son:

- **Medio voltaje:** 13.8 kV. – 7.69 kV. – 6.3 kV
- **Bajo Voltaje:** Monofásico: 240 – 120V.
Trifásico: 220 – 127V.

1.6.5.1 Acometidas en Medio Voltaje

En este tipo de acometida se debe realizar mediante transformadores de medición que deben ser instalados a nivel del piso.

- El conductor que debe ser utilizado debe ser un conductor aislado para 15 kV de tipo XLPE apantallado con cinta de cobre.
- Para todas las puntas de conexión se debe utilizar puntas terminales. Todas las protecciones de esta red se deben considerar para una cámara de transformación o de distribución eléctrica.
- El acceso será exclusivamente para el personal de la empresa distribuidora de energía. (Emelnorte Normas de redes).

1.6.6 Medidores

Son los componentes necesarios para la medición o registro de energía activa, energía reactiva, demandas máximas y otros parámetros relacionados. Son parte de la acometida eléctrica de la empresa distribuidora de energía hacia el abonado, el cual genera datos reales de consumo del cliente para su respectiva facturación, este consumo se lo mide en kWh /mes.

1.6.6.1 Tipos

- Usuarios con carga instalada de hasta 10 kW se instalará un medidor de dos hilos (para servicios ocasionales).
- Usuario con carga instalada entre 10 kW y 20 kW, se instalará un medidor bifásico tres hilos.
- Usuario con carga instalada entre 20 kW y 30 kW, se instalará un Medidor bifásico tres hilos o trifásico cuatro hilos, según los requerimientos. (Emelnorte, Normas de redes).

Existe usuarios con transformador exclusivo de su uso, en estos casos se determinará el medidor de acuerdo a las siguientes consideraciones:

Para potencias que se encuentren en un rango menor o igual a 30kW se instalará un medidor de conexión directa de 100 amperios, para transformadores monofásicos se instalara un medidor de 200 amperios, de registro de demanda y energía activa, a excepción de los casos en que la potencia sea mayoritariamente reactiva, en cuyo caso se incluirá la medición reactiva. La medición se la realizará en baja tensión (Emelnorte, Normas de redes, 2011).

Para la instalación de estos medidores se deberán colocar en un lugar visible y accesible para que el personal de la empresa distribuidora realice la lectura mensual correspondiente.

1.6.7 Clasificación de los sistemas de distribución

Para la clasificación de los sistemas de distribución se debe tomar en cuenta los diferentes parámetros que se los describe a continuación:

1.6.8 Redes de distribución eléctrica según su ubicación geográfica

Están definidas dependiendo la situación geográfica para donde pueda ser suministrado el servicio eléctrico.

1.6.9 Redes de distribución urbana.

Esta red de distribución está destinada a suministro de energía eléctrica al sector de mayor concentración de abonados o de mayor demanda. Las redes de distribución urbanas abarcan a las cabeceras cantonales y capitales provinciales. (Emelnorte Normas de redes).

1.6.10 Redes de distribución rurales.

Estas redes de distribución están diseñadas o destinadas a zonas dispersas de las cabeceras cantonales y provinciales, donde estas no cuentan con una organización o definición clara como calles o manzanas (Ordoñez & Nieto, 2010).

El calibre mínimo que se debe utilizar en los conductores para estas redes en el sistemas primarios será #2 AWG ACSR. (Emelnorte, Normas de redes).

1.7 Redes de distribución de energía eléctrica según su tipo de construcción.

1.7.1 Redes de distribución aéreas

Este tipo de redes de distribución eléctrica básicamente están instaladas a la intemperie compuesto por lo general de conductor desnudo el cual va conformándose sobre elementos aisladores, instalados en crucetas de madera o metálicas dependiendo del diseño que a su vez se encuentran montados en postes de madera o hormigón (Ramírez, 2004).

1.7.2 Redes de distribución subterráneas

Estos tipos de red son utilizados para mejorar la contaminación visual en zonas altas de población, este sistema genera más confiabilidad, incluso no está expuesta a robos, y sobre todo no están propensas a daños habituales con las inclemencias del clima (Ramírez, 2004).

1.8 Clasificación de las redes de distribución de acuerdo al tipo de cargas.

1.8.1 Redes de distribución para cargas residenciales.

Esta red está diseñada para departamentos, edificios, urbanizaciones etc. Estas cargas en la mayoría de sus casos son de menor densidad (Ramírez, 2004).

En la siguiente tabla 1.3 se indica la clasificación de los estratos de consumo para cargas residenciales.

TABLA 1.3 Clasificación de Estratos de Consumo.

Estratos de consumo	
Categoría por estratos de consumo	kWh/mes (sin considerar la influencia de las cocinas)
E	0-100
D	101-150
C	151-250
B	251-500
A	>500

Fuente: Empresa Regional Norte (Emelnorte). Dirección de Planificación.

1.8.2 Redes de distribución para cargas comerciales

“Caracterizadas por ser resistivas y se localizan en áreas céntricas de las ciudades donde se realizan actividades comerciales, centros comerciales y edificios de oficinas. Tienen algún componente inductivo que bajan un poco el factor de potencia. Hoy en día predominan cargas muy sensibles que introducen armónicos” (Ramírez, 2004, p.41).

1.8.3 Redes de distribución para cargas industriales.

“Que tienen un componente importante de energía reactiva debido a la gran cantidad de motores instalados. Con frecuencia se hace necesario corregir el factor de potencia. Además de las redes independientes para fuerza motriz es indispensable distinguir otras para calefacción y alumbrado. A estas cargas se les controla el consumo de reactivos y se les realiza gestión de carga pues tienen doble tarifa (alta y baja) para evitar que su pico máximo coincida con el de la carga residencial” (Ramírez, 2004, p.11, 12).

1.9 Tipos de sistemas de distribución.

Existen tres tipos de sistemas de distribución, que son los más frecuentes que se utilizan para el diseño y construcción en los sistemas de distribución eléctrica, los cuales son:

- Sistema radial
- Sistema anillo
- Redes de distribución mallada.

1.9.1 Sistema radial

Es aquel que en su recorrido utiliza una sola línea de suministro, que se encuentra entre la fuente y la carga para la entrega de energía al usuario; este sistema es muy simple ya que solo presenta una sola dirección en su recorrido hasta el punto de carga final existente, la forma de distribución es similar a una ramificación como esta expresado en la figura 1.3 (Valle 2016).

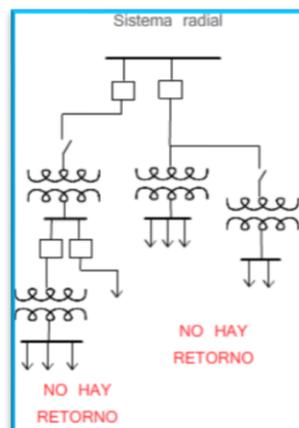


Fig. 1.3 Sistema radial para una Distribución Eléctrica.

Fuente: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/784/A4%20SISTEMAS%20DE%20>

Este tipo de red es más utilizada principalmente en un sistema de distribución área rural ya que es menor el coste de suministro al tratarse de grandes áreas geográficas con cargas dispersas y bajo consumo.

1.9.2 Sistema Anillo

Este tipo de sistema está compuesto por varias trayectorias o recorridos de alimentación cerrando un anillo entre la fuente de generación y la carga. Este sistema parte desde la estación central o subestación y realiza un recorrido completo por el área para el suministro de la energía eléctrica, y se enlaza nuevamente al punto de donde partió. Por lo cual esto da como resultado que el área sea abastecida de ambos extremos, es posible suministrar de energía a las cargas como si fuesen dos redes radiales; permitiendo excluir ciertas secciones en caso de alguna falla garantizando la continuidad del servicio (Valle, 2016).

En la siguiente figura: 1.4 se indica el diseño de este sistema:

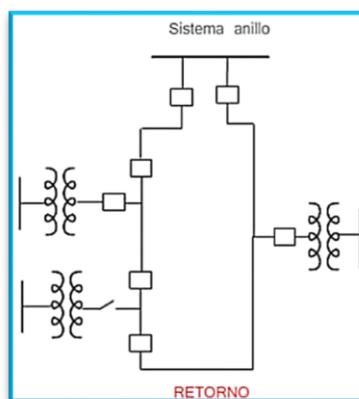


Fig. 1.4 Sistema radial para una Distribución Eléctrica.

Fuente:<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/784/A4%20SISTEMAS%20DE%20>

1.9.3 Sistema en red o mallado

Este sistema está formado por redes conectadas en anillo distribuidas en secciones iguales, dichos anillos están conectadas en forma radial por lo cual proporciona mayor confiabilidad del servicio eléctrico (Valle, 2016). En la siguiente figura 1.5 se puede describir el diseño de este sistema:

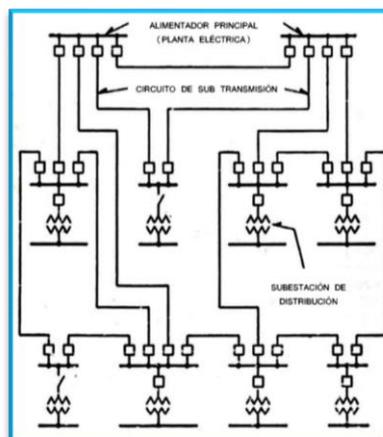


Fig. 1.5 Sistema de red o malla.

Fuente:<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/784/A4%20SISTEMAS%20DE%20>

1.10 Construcción del sistema de distribución eléctrica de redes subterráneas

1.10.1 Separadores de tubería:

Para mantener una distancia apropiada entre los ductos se debe utilizar Láminas de PVC modulares. La separación mínima en orden horizontal y vertical de un mismo grupo de ductos será de 5 cm. individualmente del diámetro de la tubería y el nivel de voltaje empleado, la distancia longitudinal entre cada separador será de 2.5 m.(MEER, sección 2 uc.).

En la figura: 1.6 se indica la ubicación de un banco de ductos en acera con una configuración 3x3 de 110 mm. y la distancia de separación, las medidas están dadas en mm.

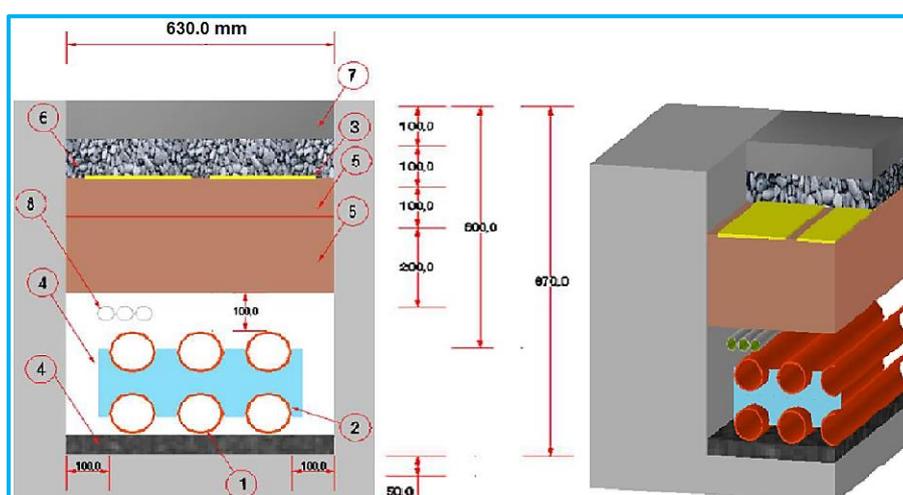


Fig. 1.6 Distancia y separación de un banco de ductos en acera.
Fuente: Meer. Sección 4: Manual de las unidades de construcción (uc).

En la tabla 1.4 se indican el listado de materiales y su respectiva descripción para la instalación de este tipo de banco de ductos en forma general.

TABLA 1.4 Listado de materiales

LISTA DE MATERIALES			
REF.	UNID.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	c/u	Tubo PVC pared estructurada interior lisa y exterior corrugada de 110 mm.	3
2	c/u	Separador de tubería PVC 2 Filas x 4 columnas ancho 640 mm x 180 mm de alto.	2
3	c/u	Cinta de señalización ancho 250 mm. x 0.175 mm. de grosor	2
4	m3	Arena	0.01313
5	m3	Material de relleno	0.189
6	m3	Ripio	0.063
7	m3	Hormigón de 140 kg/cm ²	0.063
8	c/u	Tubo de polietileno Triducto de 40 mm.	1

Fuente: Meer. Sección 4: Manual de las unidades de construcción (uc).

1.10.2 En calzadas

Para la instalación de los ductos bajo la calzada, el material con el cual va ser rellenado deberá ser hormigón con resistencia mínimo de 180 Kg/cm², hasta 10 cm por encima del ducto superior sobre el grupo de ductos instalados se colocará material de relleno (libre de piedra) en el mejor de los casos arena fina en capas de 25 cm compactado en forma mecánica (MEER, sección 2 uc.).

1.10.3 Distancias de separación entre banco de ductos eléctricos y otros servicios:

Para la instalación en forma horizontal la separación mínima entre el banco de ductos y otros sistemas será de 25 cm, no se debe instalar otros sistemas en forma paralela por encima o debajo de ductos eléctricos (MEER, sección 2 uc.).

En la tabla: 1.5 se indica la profundidad mínima a la que deben instalarse los ductos o bancos de ductos, esta profundidad debe considerarse con respecto a la parte superior de los ductos.

TABLA 1.5 Profundidad para la instalación de los ductos.

Localización	Profundidad Mínima (m)
En lugares no transitados por vehículos	0.6
En lugares transitados por vehículos	0.8

Fuente: Meer. Sección 4: Manual de las unidades de construcción (uc).

1.10.4 Ancho de la zanja:

Para la excavación de la zanja se debe tomar en cuenta el fácil acceso para la instalación de los ductos y a su vez del relleno respectivo.

Para determinar el diámetro de la zanja para la excavación se debe utilizar la fórmula a continuación:

$$Bd = N * D + (N-1) e + 2x \quad (\text{ec. 1.1})$$

Dónde:

Bd: Ancho de la zanja.

N: Número de tubos (vías) en sentido horizontal.

D: Diámetro exterior del tubo.

e: Espacio entre tubos (Mínimo 5 cm).

x: Distancia entre la tubería y la pared de la zanja. (Mínimo 10 cm)“ 3). (MEER, sección 2 uc.).

1.10.5 Cintas de señalización:

Estas cintas sirven para advertir la existencia de ductos eléctricos como se indica en la figura 1.7, la cual se debe colocar una cinta o banda de PVC en toda la trayectoria del banco de ductos, esta cinta de señalización debe ser colocada a una profundidad de 10 cm; esta medida será tomada desde la parte inferior de la acera o calzada.

Cuando el ancho de la zanja es menor o igual a 0.5 m se colocará una cinta de señalización, si la zanja es mayor a 0.5 m se colocará dos cintas de señalización para tener una buena visibilidad (MEER, sección 2 uc.).



Fig. 1.7 Cinta de precaución.
Fuente: Meer. Sección 2: Manual de las unidades de construcción (uc).

1.10.6 Ductos:

Los cables o conductores están protegidos mediante tuberías que deben ser de PVC; estos ductos una vez que están instalados en las zanjas deberán ser sellados en sus puntas con tapones diseñados para este tipo de tuberías y así estén libres de basura y demás elementos que obstruyan el paso del conductor al ser instalado, estos ductos deberán tener el sello de calidad INEN.

La suma del área de la sección transversal de todos los conductores o cables en una canalización no debe exceder 40% de la sección transversal interior de la canalización (MEER, sección 2 uc.).

1.10.6.1 Ducto tipo HDPE

Este tipo de ducto tiene la característica de la flexibilidad que se puede doblar con facilidad en construcciones para evitar obstáculos, resistencia y fácil uso la cual están diseñados para ser instalado de forma subterránea, para este tipo de instalación y a su vez protegiendo los conductores eléctricos y de telecomunicación que se encuentren en su interior, sustituyendo a los ductos anteriores de polietileno en los cuales la fuerza era pocas veces mayor y tenía un nivel adecuado de flexibilidad, Este tipo de ducto está diseñado con ondas espirales únicas, esto nos optimiza el bajo coeficiente de fricción y la línea de cable de entrada ya está colocada en la tubería; tanto en la pared exterior como la pared interna del ducto, por lo tanto supera la debilidad de la resistencia superficial en el anterior (OptiRoad Inc. , 2009); en la figura 1.8 se indica este tipo de ducto HDPE.

Además brinda excelente resistencia a la corrosión y durabilidades ya que es semi permanente porque tiene una fuerte resistencia química contra el ácido, la base o el aceite, por lo que no es dañado por el químico y no se corroe en el agua del mar o en áreas pantanosas (OptiRoad Inc. , 2009).



Fig. 1.8 Estructura del ducto tipo TDP.
Fuente: Catalogo OptiRoad Inc., 2009

1.10.6.2 Ductos y tubería metálica en canalizaciones y transiciones:

En la tabla 1.6: se indica el calibre del conductor con sus respectivos voltaje y tipo de canalización respectiva.

TABLA 1.6 Calibre y tipo de canalización.

Calibre del conductor (AWG o kcmil)	Tensión (kV)	Ducto para canalización	Transición
1/0, 2/0, 3/0, 4/0, 250, 300, 350, 500	35	6"	6"
2, 1/0, 2/0, 3/0, 4/0, 250, 300, 350	15-25	4"	4"
500	15-25	6"	6"
4,2,1/0,2/0,250,300,350	0.6	4"	4"
6,4,2,1/0	0.6 (Alumbrado Público)	2"	2"

Fuente: Meer. Sección 4: Manual de las unidades de construcción (uc).

Nota: En todos los casos para realizar las instalaciones de los alimentadores incluyendo las redes y acometidas en bajo voltaje, el número máximo de conductores las cuales son (fases), no puestos a tierra por ducto será de 3 conductores, más el neutro respectivamente (MEER, Sección 4, 2011).

Para voltajes de 13.8 kV, se tiene como similitud los ductos que son utilizados para medio voltaje de 15 - 25 kV, ya que si cumplen con las homologaciones vigentes para la construcción de redes de distribución en medio voltaje como de permitir la disipación del calor, fácil instalación y retiro de los conductores sin dañar a los mismos y a su aislamiento.

1.10.7 Configuración de ductos:

En la tabla 1.7: se encuentra la configuración de los ductos dentro de una misma zanja estará dada en base al número de filas por número de columnas:

TABLA 1.7 Configuración de ductos.

1X2	1X3	1X4
2X2	2X3	2X4
3X2	3X3	3X4
4X2	4X3	

Fuente: Meer. Sección 4: Manual de las unidades de construcción (uc).

Para la canalización de los sistemas de comunicación tipo (SCADA) se debe instalar en toda la canalización un triducto que sea de pared exterior lisa y en la parte interior con estrías longitudinales, el diámetro de este triducto debe ser de 40mm. de diámetro (MEER, sección 2 uc.).

En la figura 1.9 se indica el diseño final de la configuración de ductos para la instalación de este nuevo sistema de medio voltaje.

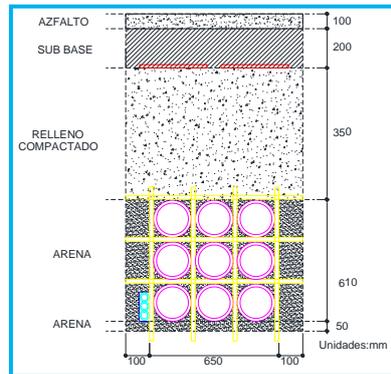


Fig. 1.9 Esquema de la canalización de tuberías.
Fuente: Diseño de canalización para la ciudad de Yachay.

1.10.8 Pozos

Para el recorrido de los alimentadores, tanto primarios como secundarios se debe utilizar pozos o también llamadas cajas de derivación, las cuales facilitaran la instalación del conductor y también el cambio de dirección del mismo y a su vez nos sirven para realizar empalmes del conductor en caso de ser necesario.

La distancia máxima entre pozos para estos tramos es de 60m; los conductores y accesorios que alberguen estas cajas deberán estar sujetas a la pared de la misma, además deben tener una área limpia y adecuada para realizar trabajos de mantenimiento a red.

La distancia entre la parte inferior de los ductos más profundos y la base del pozo debe ser mínimo de 10 cm. (MEER, sección 2 uc.).

Los pozos serán construidos con paredes de hormigón armado de 210 Kg/cm² o de mampostería de ladrillo o bloque de hormigón pesado. El espesor de la pared será como mínimo de 12 cm.

Las paredes interiores de los pozos deben ser construidas de bloque o ladrillo debidamente enlucidas con cemento en donde el banco de ductos debe estar centrado con respecto a las paredes laterales del pozo, la forma de estos deberán ser cuadrados o rectangulares y en caso de ser necesario octogonal (MEER, sección 2 uc.).

Las tapas de los pozos podrán ser de:

- Hormigón armado: Tendrá un marco y brocal metálico. El espesor de la losa de la tapa será de 70 mm.
- Acero dúctil o grafito esferoidal: Clase C250-400 kN (MEER, sección 2 uc.).

1.10.8.1 Dimensiones:

Dependiendo el diseño de la red se construirán el tipo de pozo con sus respectivas dimensiones como se indica en la tabla 1.8:

TABLA 1.8 Dimensión y tipos de pozos.

TIPOS	Largo (m.)	Ancho (m.)	Profundidad (m.)	Aplicación
Tipo A	0.90	0.90	0.90	MV-BV-AP
Tipo B	1.20	1.20	1.20	MV-BV-AP
Tipo C	0.60	0.60	0.75	AP
Tipo D	1.60	1.20	1.50	MV-BV-AP
Tipo E	2.50	2.00	2.50	MV-BV-AP

- Las profundidades indicadas en la tabla son mínimas y podrá aumentar dependiendo de cantidad de ductos a instalarse.
- Los pozos tipo B y D se construirán con 2 tapas de hormigón que cubran el área del mismo.
- En el pozo tipo E serán utilizados podrá colocar módulos premoldeados para derivación y seccionamiento. Este tipo de pozo irá con una tapa de hierro esferoidal.
- Los pozos tipo D y E se construirán normalmente en las esquinas.

Fuente: Meer. Sección 2: Manual de las unidades de construcción (uc).

Para la construcción de los pozos y ductos se debe verificar de antemano con las identidades correspondientes que no existan instalaciones de agua potable, alcantarillado, teléfonos, energía eléctrica, etc., para no causar daños a esas instalaciones.

De acuerdo a las especificaciones técnicas de las cajas o pozos de derivación, se determina que se instalará el pozo tipo E el cual se adapta a las necesidades de este proyecto tanto para el conductor con el cual se va a realizar la troncal principal de alimentación, las derivaciones de este sistema y a su vez para los empalmes necesarios en todo el recorrido de los alimentadores.

En la figura 1.10 se puede observar las dimensiones y características de un pozo tipo E.

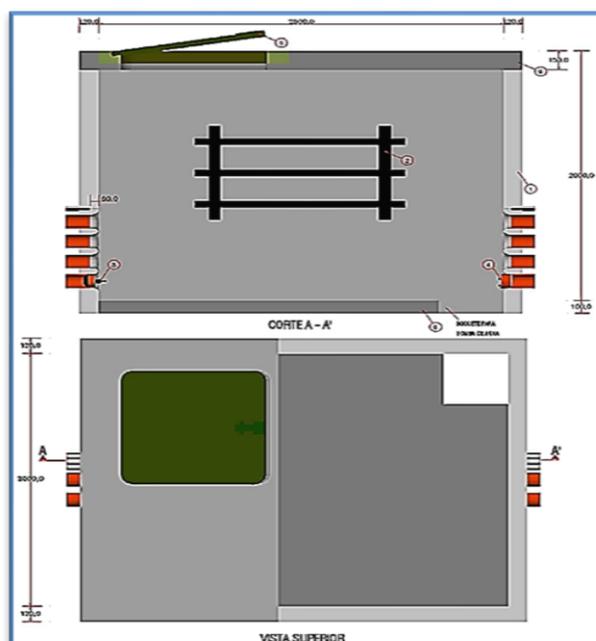


Fig. 1.10 Dimensiones y características de un pozo tipo E.
Fuente: Meer. Sección 4: Manual de las unidades de construcción (uc).

En la tabla 1.9 se indican el listado de materiales y su respectiva descripción para la construcción de este tipo de pozo.

TABLA 1. 9 Listado de materiales.

LISTA DE MATERIALES			
REF.	UNID.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	m3	Hormigón armado de 240 Kg/cm2	
2	m3.	Hormigón armado de 210 Kg/cm2	
3	c/u.	Puerta metálica de 2300mm de altura x 1400mm de ancho con seguridad	1
4	m.	Rejillas para trincheras, hierro ángulo 5mm x 50 mmm, varilla lisa de 12mm soldada cada 25mm.	
5	M.	Brocal para rejillas de 5mm x 50mm	
6	m3	Canalización para recolección de aceite 250mm x 400 mm	1
7	c/u	Ventanas de acceso y evacuación de aire	2
8	c/u	Sistema de iluminación	1
9	c/u	Luces de emergencias	1
10	c/u	Sistema de alimentación trifásica en bajo voltaje	1
11	c/u	Sistema de comunicación.	1
12	c/u	Celdas de medio voltaje mínimo 3 vías	1
13	c/u	Transformador con frente muerto	1
14	c/u	Tablero de distribución de Bajo Voltaje	1
15	c/u	Malla electrosoldada	1

Fuente: Meer. Sección 4: Manual de las unidades de construcción (uc).

1.10.8.2 Tapas de hormigón:

Las tapas de hormigón están construidas con un marco y una base de un brocal metálico de pletina de acero de espesor de 4 mm y 50 mm de base por 75 mm de alto con una inclinación de 110 grados tanto para el brocal como para el marco de la tapa como se indica en figura 1.11.

La resistencia del hormigón de la tapa será de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ de 70 mm de espesor en vereda y 150 mm en calzada con armadura $\varnothing=12 \text{ mm}$ cada 100 mm, en ambas direcciones (MEER, sección 2 uc.).

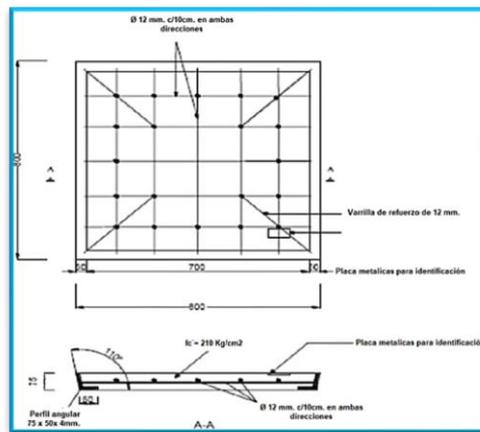


Fig. 1.11 Tapa de pozo tipo "B".
Fuente: Meer. Sección 2: Manual de las unidades de construcción (uc).

Para la apertura y levantamiento de estas tapas que se encuentran en los pozos se dejara dos orificios de forma rectangular que se puede formar por una estructura rectangular metálica con medidas de $\frac{3}{4} \times 2''$ sin sellarlas por el hormigón, para dividir correctamente el peso de las tapas y soldados a la armadura que atraviesan todo el espesor de la misma, los cuales facilitan el ingreso de una varilla que tenga en la punta en forma de L para levantar las tapas; en la figura 1.12 se indica estos tipos de adecuaciones en las tapas (MEER, sección 2 uc.).

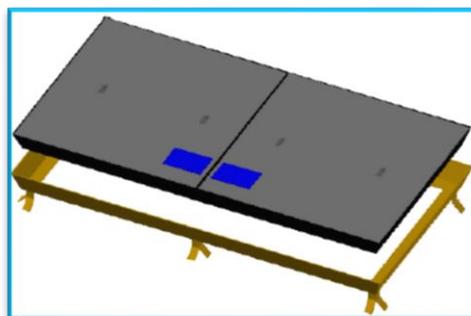


Fig. 1.12 Orificios de tapas de pozo tipo "B".
Fuente: Meer. Sección 2: Manual de las unidades de construcción (uc).

La parte metálica de estas tapas deberán tener un recubrimiento de pintura anticorrosiva, mínimo de dos capas tanto en el marco y el brocal, con el fin de que el brocal quede encajado y fijo correctamente este dispondrá de anclajes que irán asegurados al contorno del pozo (MEER, 2011, p, 9).

En la figura 1.13 se indica el tipo de brocal metálico para asentar la tapa, y el perfil de angular de la pletina.

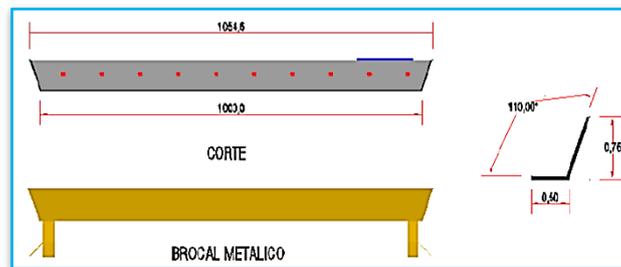


Fig. 1.13 Tipo de brocal metálico y perfil angular.
Fuente: Meer. Sección 2: Manual de las unidades de construcción (uc).

1.11 Cámaras de seccionamiento

Las cámaras de transformación o de seccionamiento es una edificación que está compuesta por el conjunto de aparatos de maniobra, de regulación, control y medida, incluidos los accesorios de las canalizaciones eléctricas, para realizar conexiones y energizar a los diferentes puntos de consumo, estos tipos de cámaras deben ser construidas basándose a los parámetros eléctricos requeridos por parte de la empresa distribuidora de servicio eléctrico, (MEER, 2011).

La acometida en AT será indispensable realizar una instalación subterránea y por responsabilidad del constructor debe señalar el número de fases, tipos de calibre del conductor, longitud, y demás detalles que se consideren importantes (Emelnorte, Normas de redes).

1.11.1 Centros o cámaras de seccionamiento según su construcción

- **Tipo convencional o interperie:** Son transformadores que suelen ser diseñados para ser instalados en postes de hormigón al aire libre apoyándose sobre bases o estructuras y en altura esta y se compone de un transformador con sus respectivos elementos de protección como son: seccionadores, pararrayos etc. como se indica en la figura 1.14.



Fig. 1.14 Centro de transformación tipo interperie.
Fuente: Autor.

- **Montaje en poste con abrazaderas:** Se debe utilizar estos tipos de accesorios para todos los transformadores monofásicos de potencias menores a 75 kVA
- **Montaje en poste con repisa o abrazaderas:** Estas bases o repisas metálicas están diseñadas para los transformadores trifásicos de potencias iguales o menores a 45 kVA.
- **Montaje en pórtico:** Suelen ser instalados en estructuras metálicas, también se instalan en estructuras H, las cuales comprenden de dos postes de hormigón para tipos de transformadores trifásicos de potencias iguales o mayores a 50 kVA. y menores o iguales a 125 kVA (Empresa Electrica Regional Norte S.A., 2009 - 2011).
- **Tipo pedestal:** Estos tipos de transformadores también conocidos como padmounted tanto monofásicos y trifásicos, están diseñados especialmente para lugares donde el espacio físico es reducido para la construcción de una cámara eléctrica a nivel tales como: instalaciones subterráneas, urbanizaciones, parques, áreas verdes, centros educativos, etc y estarán instalados a la interperie, como se indica en la figura 1.15.



Fig. 1.15 Cámara de seccionamiento a nivel del suelo o tipo Padmounted.
Fuente: Autor.

- **A nivel de suelo en la superficie:** Son edificaciones diseñadas especialmente para equipos eléctricos como son transformadores, tableros de medición y transferencia, esta edificación en sus paredes suele ser de una mampostería de ladrillo o de materiales que sean resistentes al fuego por un lapso de tiempo mínimo de 3 horas.

Este tipo de cámaras a nivel tendrán una puerta de acceso que abrirá hacia el exterior, de 2.30 m de altura y 1.4 m de ancho, como mínimo y deberán ser metálicas con una cerradura que impida el ingreso a personal no autorizado (MEER, sección 2 uc.) esta cámaras se deberán construir para todos los transformadores de potencias superiores a 125kVA; en la figura 1.16 se encuentra una cámara de seccionamiento a nivel del suelo.

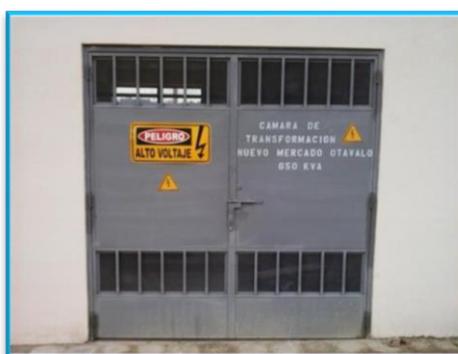


Fig. 1.16 Edificación para una Cámara de seccionamiento.
Fuente: Autor.

1.11.2 Edificios subterráneos de Hormigón tipo ICEBERG

Este tipo de cámaras de seccionamiento es una edificación subterránea prefabricada de hormigón de tipo Iceberg, que han sido diseñadas permitiendo la instalación de todos los conjuntos de aparatos de maniobra, de regulación y control, de medida, incluidos los accesorios de las canalizaciones eléctricas, utilizados en las instalaciones eléctricas, cualquiera que sea su tensión, garantizando así el funcionamiento y protección de los equipos con excepción del conductor de entrada y salida de la cámara (Catalogo, Schneider, 2012).

Este tipo de cámara de transformación está construida básicamente por una estructura prefabricada de hormigón armado compacta entre toda esta cámara, con una característica resistiva igual o superior a 350 daN/cm² al cabo de 28 días después de su fabricación, es idónea para ser instalada en temperaturas -15°C y 50°C con ambientes de humedad relativa máxima del 100%. Con una capacidad de albergar celdas compactas o modulares, transformadores en aceite y secos, tanto de 24kV como de 36 kV. y tablero de distribución en bajo voltaje.

Los componentes externos de estas cámaras son diseñados para resistir a las variaciones o inclemencias del tiempo y la exposición de los rayos ultravioletas (Catalogo, Schneider, 2012)

En la figura 1.17 se indica una cámara de seccionamiento tipo Iceberg, con ventilación horizontal.



Fig. 1.17 Cámara de seccionamiento tipo Iceberg, con ventilación horizontal.
Fuente: Catálogo, Schneider, 2012.

1.12 Celdas de seccionamiento

Es el conjunto de equipos eléctricos (seccionadores interruptores, etc.) que se encuentran en un envoltorio metálico prefabricado equipado con una o varias unidades funcionales; en la figura 1.18 se describe una celda con sus respectivas partes.

1. Aparatos
2. Barras
3. Conexión
4. Mecanismos de operación
5. Baja tensión

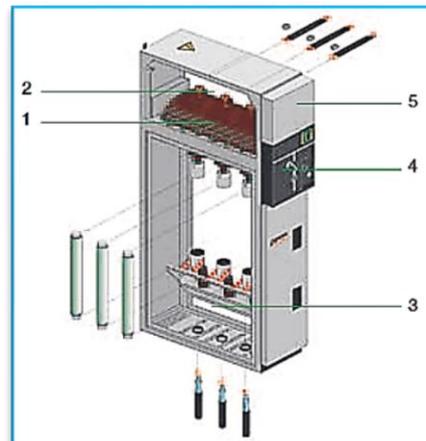


Fig. 1.18 Partes de una Celda de seccionamiento.
Fuente: Catálogo Schneider 2015.

1.12.1 Clases de celdas

Existen comúnmente dos tipos de celdas que se instalan en una red de distribución las cuales son modulares y compactas.

1.12.1.1 Celda Modular

Este tipo de celdas son aquellas que tienen al menos una función, con la factibilidad de poder acoplarse entre sí por la conexión superior de las barras ya sea por derecha o izquierda de la celda (Enel, 2013).

1.12.1.2 Celda Compacta

“Las celdas son armarios, completamente cerrados, normalizados y precintados, con cristales para la observación de las indicaciones, donde se encuentran aparatos de maniobra del centro de carga. Las celdas, reúnen en un conjunto compacto, todas las funciones de medio voltaje que permiten la maniobra de las redes, así como la alimentación, conexión y protección de los transformadores de la misma” (Chasiloa & Ortega, 2013, p.15).

1.12.1.3 Celda con aislamiento en vacío.

Este tipo de celda sirve para controlar las maniobras en redes de distribución en medio voltaje, se utilizan para maniobras de líneas aéreas, cables, transformadores, generadores, condensadores, circuitos de filtro, motores y bobinas de reactancia. (Siemens 2010).

1.12.1.4 Celda con aislamiento en gas SF6

Este tipo de celda está compuesta en su interior con un gas tipo SF6 el cual, gracias a sus características químicas funciona como un aislante dentro de la cuba de la celda, este gas tiene la capacidad de apagar el arco eléctrico que se pueda presentar en el interior de la celda cuando se realiza la conmutación de un circuito sin que este se propague (Vega, 2016).

1.12.2 Características generales de las celdas tipo FBX

En este proceso para la implementación de las celdas para la distribución en medio voltaje, en las cámaras de seccionamiento se considera la gama tipo FBX las cuales son celdas modulares en media tensión de hasta 24 kV, 630/1250 A, 25 kA 1s, utilizado en aplicaciones de distribución secundaria las cuales se adaptan al diseño final de la construcción.

Este tipo de celdas se puede integrar fácilmente en una subestación gracias a su tamaño compacto se pueden ensamblar hasta 5 unidades funcionales en un solo tanque aislado por gas SF6.

1.12.2.1 Condiciones de operación

- Clasificación de temperatura: -5 ° C en interiores (opción: -25 ° C).
- Temperatura ambiente: de -5 ° C a + 40 ° C (opción: -25 ° C)
- (Opción: hasta + 55 ° C para corrientes de servicio reducidas)

- Valor promedio durante 24 horas (máx.): + 35 ° C
- La altura máxima típica para la instalación sobre el nivel del mar es de 1,000 m.
- Sin embargo, son posibles altitudes mucho más altas a petición, pero con limitaciones cuando se requieren funciones de medición o de portafusibles de alta tensión.
- Tipo de gas aislante: hexafluoruro de azufre (SF6)
- Presión nominal a + 20 ° C: 0.03 MPa
- A prueba de inundaciones (opción): probado con éxito bajo el agua durante 24 horas a 24 kV 50 Hz. En la imagen 1.19 se indica la protección IP de estas celdas (Schneider 2015).

Índice de protección (IP)

- Circuitos eléctricos principales: IP67.
- Compartimento de fusibles: IP65 (opción: IP67).
- Mecanismos de funcionamiento: IP2X (opción: IP33).
- Compartimento de conexión de cable: IP2XC
- Barra colectora: 1250 A en la parte superior de la unidad: IP67.
- Tablero de distribución: IK07.



Fig. 1.19 Protección IP 67 anti inundación de una celda tipo FBX.
Fuente: (Schneider Electric., 2015).

1.13 Conductor tipo XLPE (Cross-Linked Polyethylene)

Este tipo de conductor es más utilizados para instalaciones y redes de medio voltaje este es un cable monoconductor formado por conductor de cobre suave o dependiendo de su instalación suele ser de cable de aluminio 1350 (desnudo en temple duro con alma de acero galvanizado, tipo ACSR) como se indica en la figura 1.20, añadido con elementos bloqueadores de humedad para ser utilizado en áreas expuestas a la humedad, a la interperie o totalmente sumergidos están compuestos con una pantalla semiconductora sobre el conductor y aislamiento de polietileno de cadena cruzada (XLPE), pantalla sobre el

aislamiento extruida, pantalla metálica de cobre y cubierta de policloruro de vinilo altamente deslizable (VIAKON , 2015).

Características técnicas:

- Temperatura de operación normal de 90° C.
- Rígido.
- Susceptible a la arborización por el agua.
- Mayor expansión térmica.



Fig. 1. 20 Estructura de un conductor de medio voltaje tipo XLPE.
Fuente: <https://www.google.com/search?q=estructura+de+un+conductor+tipo+xlpe&client=firefox>

1.14 Conductor en medio voltaje tipo ERP.

Este tipo de conductor está compuesto por un material de caucho etileno-propileno (EPR), termoendurecible, el cual está construido por un método de triple extrusión en tándem (unión de pantallas aisladoras) sobre el aislamiento, cuyo sistema proporciona el equilibrio óptimo de las propiedades eléctricas y físicas del conductor durante mucho tiempo.

El conductor está compuesto en la parte interior por un conductor de aluminio y en la parte exterior de cobre desnudo concéntrico, estos cables están uniformemente espaciados alrededor del aislamiento de la pantalla y la chaqueta protectora del conductor la cual proporciona protección contra los daños mecánicos y corrosión (Catalogo Okoguard, sección 2, 2010).

Características técnicas:

- Temperatura de funcionamiento continua de 105 ° C.
- Clasificación de emergencia operable a 140 ° C.
- Clasificación de cortocircuito operable a 250 ° C.
- Temperatura de instalación mínima de -40 ° C.
- Excelente resistencia al efecto corona.
- Baja constante dieléctrica y factor de potencia.
- Pantallas aisladoras limpias.
- Resistencia excepcional al “treeing” (ruptura dieléctrica de un material aislante).
- Conductor de hilo relleno.

- Resistente a la humedad
- Mayor flexibilidad debido a su aislamiento.
- La chaqueta o envoltura final en general ofrece una vida útil prolongada.
- Excelente resistencia a la mayoría productos químicos.

En la figura 1.21 se indica el esquema general de este tipo de conductor con sus respectivas partes.

- A.** Conductor de aluminio suave cableado.
- B.** Material de relleno con hilos semiconductores (Opcional)
- C.** Blindaje en EPR semiconductor.
- D.** Aislamiento en EPR.
- E.** Blindaje del aislamiento en polietileno reticulado semiconductor removible para instalación.
- F.** Neutro concéntrico en hilos de cobre
- G.** Chaqueta PVC retardante a la llama, resistente a la abrasión, al calor y a la humedad.

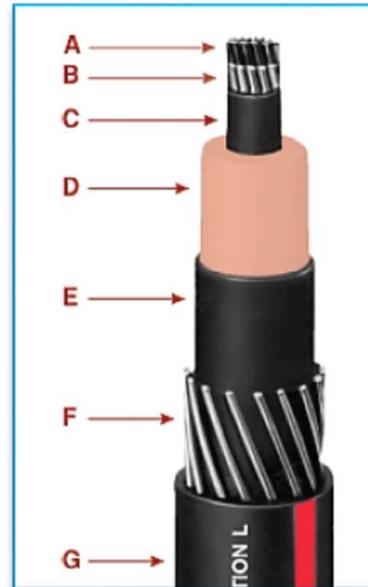


Fig. 1.21 Estructura del conductor tipo ERP.
Fuente: Catalogo Okoguard 2010.

1.15 Empalme de resina para conductores en medio voltaje

Este tipo de empalme está compuesto principalmente por una resina epoxica aislante dieléctrica que es un polímero termoestable que se endurece al entrar en contacto con un agente catalizador, este tipo de empalme sirve para realizar un encapsulado y protecciones de conexiones eléctricas tanto en derivaciones como en uniones de conductores aislados para proveer un aislamiento eléctrico total.

Este empalme se lo realiza en un recipiente especialmente diseñado para facilitar el mezclado y vaciado en el molde de plástico como se indica en la figura 1.22, dando una protección de los conductores para sitios expuestos a la intemperie, humedad, directamente enterrados o sumergidos (EPOX RESINA , 2016).



Fig. 1.22 Empalme para medió voltaje con resina epóxica.

1.16 Empalme contráctil en frío para medio voltaje

Los empalmes contráctiles están diseñados para unir cables con pantallas de cinta, alambres redondos o planos, cubierta de plomo, apantallados o neutro concéntrico, reconstruyendo las porciones de capas de aislamiento del cable que fueron removidas y proporcionando protección contra la humedad sobre el área empalmada (MEER, sección 2 uc.).

Están formados por un cuerpo de silicona que se integra en una sola pieza, proporciona una alta resistencia dieléctrica como se indica en la figura 1.23, este empalme contráctil para medio voltaje posee una alta resistencia a la rotura (low tensión set); y una excelente restauración a baja temperatura, integra un control de esfuerzos eléctricos realizado por un moldeo en fábrica de conos de alivio y basado al principio de una jaula de Faraday, (Empalme contráctil en frío CSJA).



Fig. 1.23 Empalme contráctil para medio voltaje.
Fuente: Empalme contráctil en frío CSJA.

Características Principales:

- Manguito de reexpansión de EPDM (Etileno, Propileno y Dieno de alta calidad, buena resistencia a la abrasión y al desgaste).
- Cuerpo de articulación de caucho de silicona de una sola pieza preexpandido con alta capacidad de expansión mecánica que permite un amplio rango de aplicaciones.
- Revestimiento en espiral diseñado ergonómicamente que proporciona una instalación suave con bajas fuerzas de liberación.
- Longitud total del empalme cuerpo en el holdout es 14 a 19 pulgadas.
- No se requiere una distancia de estacionamiento adicional para volver a armar la chaqueta
- Sistema de puesta a tierra de trenza / malla de cobre preexpandido.
- Mástique de sellado de alto rendimiento para sellado de humedad y protección contra la corrosión
- No hay deformación de la retención de espiral hasta 85 ° C en pruebas de corto plazo (TE connectivity, 2008).

CAPÍTULO 2

DESARROLLO

2.1 Introducción

Para desarrollar una metodología que conduzca a la implementación de un sistema soterrado de medio voltaje deben tomarse en consideración las características técnicas de equipos y componentes requeridos para este tipo de sistemas; por otra parte, es indispensable realizar una revisión de los diferentes métodos empleados para las redes de distribución a manera de seleccionar el más apropiado.

A continuación se describen, de manera detallada, los procesos requeridos para la implementación del sistema soterrado de medio voltaje, para lo cual se ha seleccionado como espacio de desarrollo a la ciudad del conocimiento Yachay en sus diferentes distritos.

Excavación de zanjas, ductos, instalación de ductos, tipo de conductor utilizado en media voltaje, propiedades técnicas del conductor, tendido del conductor, diseño y características de empalmes, pozos de revisión, cajas de empalmes, cámaras de seccionamiento subterránea, celdas de seccionamiento y relé de protección.

2.2 Materiales:

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizaron los siguientes materiales:

- Normas de construcción del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER).
- Normas de construcción de las redes de distribución de Empresa Eléctrica Regional Norte (Emelnorte).
- Catálogos técnicos de materiales.
- Catálogos de instalación de los equipos y materiales.
- Software para el diseño del recorrido (Autocad)
- Software de modelación para redes eléctricas (Cymdist).

2.3 Metodología para la implementación de un sistema soterrado en medio voltaje

2.3.1 Determinación del área para la implementación del sistema.

El primer paso que se debe tener en cuenta es conocer el área geográfica donde se va a construir el sistema soterrado en medio voltaje, en este caso se selecciona el área de la Ciudad del Conocimiento “Yachay”, determinada por cuatro distritos (División administrativa). En la figura 2.1 se observa la distribución por distritos de la ciudad del conocimiento.



Fig. 2.1 Distritos de la ciudad de Yachay.
Fuente: Diseño territorial de la ciudad de Yachay.

En la tabla 2.1 se detalla cada proyecto existente y a la vez en construcción por cada distrito.

TABLA 2.1 Proyectos de cada distrito de la ciudad de Yachay.

Distrito 1 (Principal)	Distrito 3
<ul style="list-style-type: none"> • Universidad Yachay Tech. • Cluster Ciencias de la tierra. • Edificio de transferencia tecnológica • Escuela del milenio • Edificio del SENESCYT. • Edificios Multifamiliares (Departamentos Estudiantiles). • Nodo de Telecomunicaciones. <p>Al sur del distrito 1 siendo destinada para una zona rural.</p>	<p>Este distrito está destinado para la zona rural, al momento cuenta con dos proyectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Centro de salud (Proyecto en construcción). • Instituto Superior Técnico 17 de Julio (actualmente en funcionamiento y se encuentra ubicado entre el distrito 1 y 3).
Distrito 2	Distrito 4
<p>Este distrito es similar al distrito 1, teniendo en cuenta que este va ser un distrito más de zona residencial que será finalizado a continuación del distrito 1, por lo tanto se tiene determinado un alimentador en esta etapa de construcción.</p>	<p>Este distrito es menor tamaño y está destinado de igual manera para la zona rural, y se ubica al oeste del distrito 3; y actualmente no se ha considerado para iniciar la etapa de construcción.</p>
Zona Industrial	
<p>Se encuentra ubicado al norte del distrito 2, el cual está asignado para empresas e industrias que se prevé construir a futuro en la ciudad.</p>	

Fuente: Diseño territorial de la ciudad de Yachay.

Se ha realizado un estudio de la proyección de la demanda por microareas cada alimentador que se proyecta en los distintos distritos posee sus demandas proyectadas a 25 años las mismas que se las indica en la tabla 2.2.

TABLA 2.2 Demanda de cada distrito de la ciudad de Yachay.

Distritos	Alimentadores	Demanda Aproximada (MW)
1	A	3.7
1	B	4.7
Sur del distrito 1 Zona rural	C	2.7
3	C	7.2
Zona industrial	D	8.4

Fuente: Simulación de demandas de la ciudad de Yachay.

Los alimentadores **A y B** se conectarán con una configuración en anillo, ya que este distrito posee proyectos de gran importancia y por lo tanto se le debe dar mayor confiabilidad al sistema. El alimentador **C y D** está conectado con una configuración radial.

2.3.2 Diseño esquemático del sistema eléctrico de distribución de Yachay

Como se menciona anteriormente se tiene determinado que para la construcción de este sistema de distribución se proveerá de cuatro (4) alimentadores, los cuales en su trayecto presentarán una o varias derivaciones las cuales se conectarán a las celdas de seccionamiento que se encuentran al interior de las cámaras tipo Iceberg que están distribuidas en puntos estratégicos de la ciudad e interconectadas entre sí; de dichas cámaras se tienen alimentadores que serán conectados a los proyectos existentes y por construir como se indica en la figura 2.2

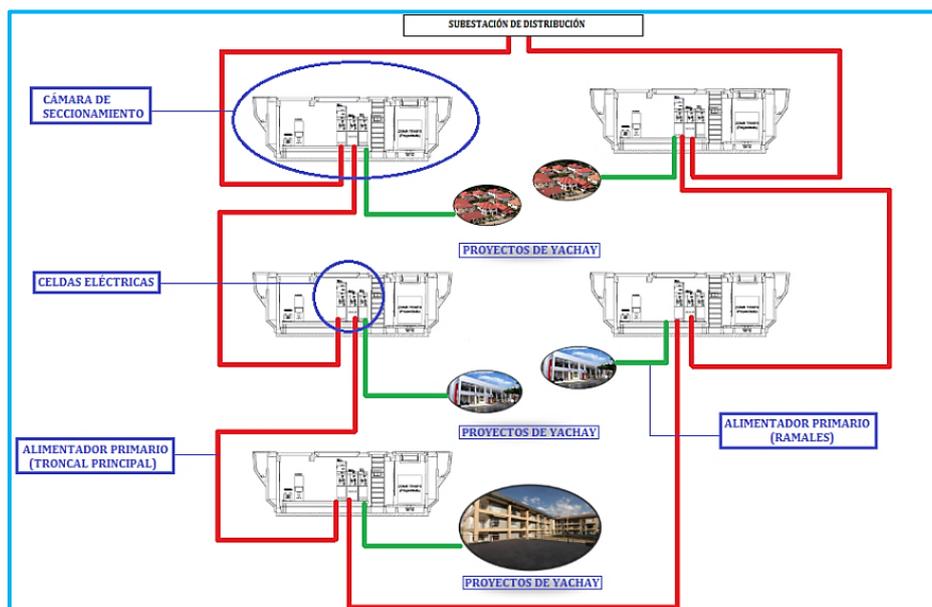


Fig. 2.2 Diseño esquemático del sistema de distribución eléctrica de la ciudad de Yachay.
Fuente: Diseño territorial de la ciudad de Yachay.

2.3.3 Excavación de zanjas

Se debe establecer el trayecto por donde se realizará la excavación de las zanjas para la instalación de los ductos las cuales parten desde la subestación eléctrica tipo Gis (Gas Insulated Switchgear) – Subestación encapsulada, que se encuentra en las inmediaciones de la ciudad y siguiendo su recorrido hasta el último punto de carga.

Por sus características técnicas y debido a la implementación de nuevos elementos para tener mayor confiabilidad y funcionamiento de este sistema de soterramiento, el tipo de ductos que se utilizarán será el tipo HDPE (Polímero de alta densidad). Como se indica en la sección 1.11.6.1 En la figura 2.3 se indica este tipo de ducto.



Fig. 2.3 Ductos tipo HDPE.
Fuente: (OptiRoad Inc. , 2009).

2.3.3.1 Excavación de zanjas, instalación y configuración de ductos

En vista que el material y características del ducto tipo HDPE es adecuado, se debe realizar la limpieza para eliminar el corte, aceites y demás impurezas. La curvatura del conducto debe proporcionar curvas de radios aceptables sin aplanar indebidamente el conducto. Los conductos deben ser tapados antes de la instalación del cable de los alimentadores para evitar la presencia de suciedad y rocas que pueden penetrar en el trayecto del ducto.

Los polvos no metálicos en instalaciones subterráneas se deben evacuar y limpiarse para confirmar la integridad de los conductos antes de la instalación. Las cajas o pozos de inspección deben limpiarse antes de la instalación del cable y la ubicación apropiada de los ojos de tracción para el conductor ya que esta debe tener una inspección y debe ser confirmada.

Basándonos al diseño preliminar de los recorridos de los alimentadores tanto primarios como secundarios, el siguiente paso sería la determinación del diámetro de las zanjas con la ec. 1.1 que se encuentra en la sección 1.11.4.

Una vez realizada la excavación se verificara la profundidad de la misma, y se deberá colocar una base de arena de 50 mm. de espesor para la instalación de la tubería con sus respectivos separadores, como se indica en la figura 2.4.



Fig. 2.4 Instalación de los ductos con sus respectivos separadores.
Fuente: (OptiRoad Inc. , 2009).

La instalación de los ductos parte desde la salida de la subestación (S/E). la cantidad de ductos que se debe usar es de nueve 9 tubos de HDPE corrugados flexibles de 150mm (6") de diámetro interior, esta canalización es diseñada para la troncal principal desde la salida de la bahía de la (S/E) hasta la calle C15 como se indica en los planos territoriales anexos al tema de investigación.

A partir de las siguientes calles solo se limitara a la instalación de 6 tubos de tipo HDPE para las derivaciones primarias, secundarias etc.

Cabe recordar que todas estas canalizaciones deben ir adicionalmente con 1 triducto de diámetro interior por vía de 40mm. el cual está diseñado para la comunicación de todo el sistema eléctrico.

2.3.4 Conductor tipo ERP

El tipo de conductor para la construcción y desarrollo del proyecto, se lo ha determinado conociendo los parámetros técnicos y estudios realizados del mismo y a su vez beneficiándose de las características técnicas del conductor dando así la importancia de implementar una nueva tecnología a este nuevo sistema de distribución en medio voltaje para esta ciudad de " Yachay".

Al tener el estudio previo de demandas y cargas conectadas a este sistema eléctrico se instalará en los alimentadores primarios denominados **A, B, C, D** el calibre 500 MCM. de aluminio comprimido de 37 hilos, calibre que cumple con los niveles de caidas de voltaje aceptado dentro de la normativa vigente, conductor que contiene un relleno bloqueador de humedad y líquidos entre los hilos, pantalla semi-conductora EPR, aislamiento de 220 mils Okoguard (EPR), para voltaje de 15KV con un nivel de aislamiento del 133%, con la

pantalla semi-conductora EPR; con un diámetro total aproximado de 1.30"pulgadas o también 3,30 cm. en la figura 2.5 se indica el corte transversal del conductor.

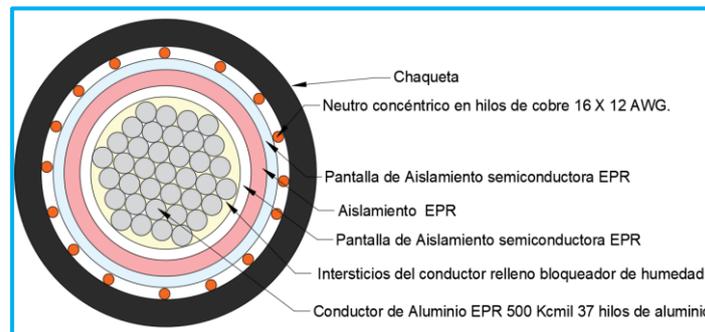


Fig. 2.5 Corte transversal del conductor tipo EPR de calibre # 2.
Fuente: (The OKONITE company, 2017) .

El neutro concéntrico está formado por 16 alambres de cobre con un calibre #12 AWG (33.3 % neutro), que recorrerá desde la subestación a las cámaras de seccionamiento que se encuentran distribuidas en todos los distritos de la ciudad de “Yachay”; una vez realizadas las acometidas respectivas a las celdas de seccionamiento que se encuentran en cada cámara, se procede desde las celdas de salida un alimentador hacia los transformadores tipo padmonted que son designados en lugares estratégicos para el servicio de alumbrado público de la misma ciudad; para alimentar este servicio se utilizará el conductor tipo #2 AWG aluminio comprimido de 7 hilos, relleno bloqueador de humedad y líquidos entre los hilos, con una pantalla semi-conductora EPR, aislamiento de 220 mils Okoguard (EPR), para un nivel de voltaje de 15kV. con un nivel de aislamiento 133%, pantalla semi-conductora EPR; con un diámetro total aproximado de 0.75"pulgadas o también 1.9 cm. en la figura 2.6 se indica el corte transversal del conductor.

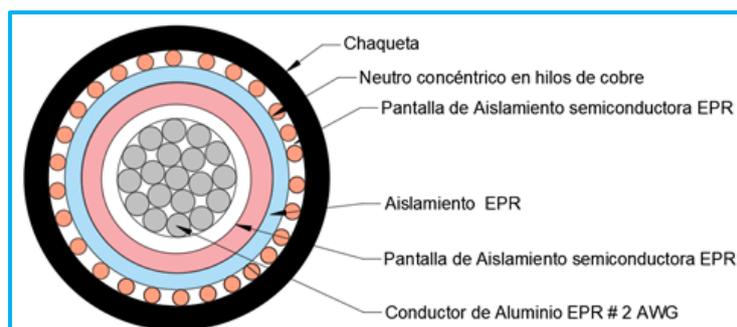


Fig. 2.6 Corte transversal del conductor tipo EPR de calibre # 2.
Fuente: (The OKONITE company, 2017) .

2.3.5 Instalación del conductor

Es importante tener presente que para el proceso de instalación de los alimentadores para el sistema de distribución en medio voltaje de toda la ciudad, se debe tomar en cuenta las características técnicas del conductor y normas sugeridas por el fabricante el cual brinda un desempeño óptimo en el proceso de la instalación.

Para la instalación del conductor existe una fuerza máxima con la cual pueden ser halados los conductores sin producir esfuerzos peligrosos en las capas de aislamiento de los mismos que lo pueden deformar, como son el alargamiento y desprendimiento del conductor con el aislamiento, o desplazamiento de los elementos de la cubierta para no comprometer el desempeño del cable en la instalación.

El cable que va ser utilizado en medio voltaje se puede halar utilizando varios dispositivos entre los cuales se tiene:

- Halador tipo ojo o tipo tornillo
- Malla de halado
- Otros

2.3.6 Terminales y Dispositivos de halado

Terminales:

El objetivo principal de los terminales para conductores en redes de medio voltaje, es el de controlar los esfuerzos eléctricos que se presentan en el aislamiento del conductor al retirar el blindaje del aislamiento en las terminaciones del cable, para conectarlos con otros elementos de la red. Su funcionamiento está soportado por el control de esfuerzo que se puede lograr por medio de materiales especiales y se complementa con distancias de fuga adecuadas y elementos que proporcionan hermeticidad en la terminación del cable.

Se los conocen estos terminales como premoldeados o también conocidos como los de tipos preexpandidos (contraíbles en frío) y los no preensanchados (contraíbles por medio de calor). Se los clasifica de acuerdo al estándar IEEE 48 con su funcionalidad como:

- **Terminales Clase 1:** Son los que proporcionan el control del esfuerzo eléctrico, garantiza una mínima distancia de fuga aislada entre el conductor-tierra y proporcionan hermeticidad o protección contra la penetración de humedad el cual puede generar una arborización en el conductor.
- **Terminales Clase 2:** Proporcionan dos aspectos que son el control del esfuerzo eléctrico y distancia de fuga aislada entre el conductor-tierra.
- **Terminales Clase 3:** Proporcionan el control del esfuerzo eléctrico y están hechos a base de pastas o barnices encintados termocontráctiles.

En la instalación del conductor para la red en medio voltaje se puede utilizar los terminales tipo reutilizables entre los cuales se tiene:

- Halador tipo ojo o tipo tornillo
- Malla de halado

Sellos o tapón de seguridad

Este sello es para ayudar a evitar que el agua entre en el cable durante el tirón; una vez que se ha instalado el cable, el accesorio de tracción debe retirarse inmediatamente y el extremo del cable cortado se volverá a sellar con una tapa termorretráctil o de contracción en frío para que no ingrese agua o humedad al conductor y pueda generar una abrasión en el conductor.

2.3.6.1 Halador tipo ojo o tipo tornillo

La máxima tensión de halado sobre el conductor de cobre o de aluminio duro no debe exceder de 0.008 veces el área del milímetro circular (CM) cuando se tira con un “halador tipo ojo o tipo tornillo” unido a cada conductor. La tensión (mecánica) máxima en los conductores de aluminio de $\frac{3}{4}$ de dureza no debe exceder de 0.006 veces de CM con un “halador tipo ojo o tipo tornillo” unido a cada conductor como se indica en la figura 2.7.



Fig. 2.7 Halador tipo ojo o tipo tornillo.
Fuente: <http://www.utilityindustries.com/products/products.html>

Por lo tanto se tiene las siguientes expresiones para el cálculo de la tensión máxima para el conductor.

$$Tm = 0.008 \times n \times CM \quad (2.1)$$

$$Tm = 0.006 \times n \times CM \quad (2.2)$$

Dónde:

Tm = Tensión máxima del conductor

n = Número de Cables

CM = Área circular mil.

2.3.6.2 Malla de halado

Es un tipo de malla metálica que se instala alrededor del conductor, en donde la máxima tensión de halado sobre el conductor de cobre o de aluminio no debe exceder de 1000 lb. por empuñadura o el valor calculado por las ecuaciones (2.1) o (2.2) anteriormente descritas, lo que sea menor.

El límite se aplica a los cables de un solo conductor, a un cable multiconductor con una envoltura general común, a dos o más cables trenzados o a cables paralelos con un agarre con malla de halado. En la figura 2.8 se puede observar este tipo de dispositivo.

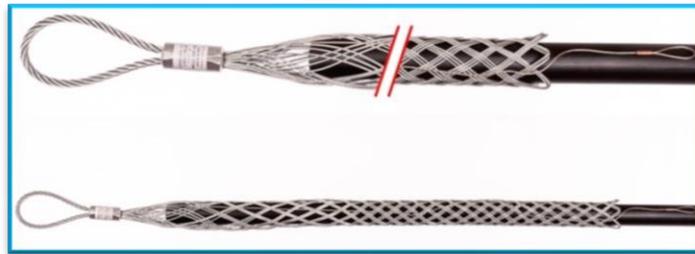


Fig. 2.8 Malla de halado.

Fuente: <http://lewisimg.com/product/pulling-grips-zip-grip-z-xs/>.

Al tirar de tres conductores individuales de igual tamaño que no sean trenzados, se debe usar en el valor de n igual a 2, en lugar de 3, ya que dos de los conductores pueden sostener la tensión de tracción total. Cuando se tira más de tres conductores individuales de igual tamaño en paralelo, la tensión máxima debe limitarse al 60% de la determinación del valor mediante la ecuación, siendo n el número total de conductores. Cuando tire de conductores de diferentes tamaños, consulte con el fabricante.

Al tirar de un “halador tipo ojo o tipo tornillo”, la tensión máxima para un 1 cable no debe exceder 6000 lb. La tensión máxima para 2 o más conductores no deben exceder 10000 lb.

Estas recomendaciones son válidas para los dos tipos de dispositivos descritos anteriormente.

Otros dispositivos

Para el límite de la tensión de halado con dispositivos que no sean los ojos de tracción y los puños de la cesta, se debe consultar al fabricante de estos dispositivos. Sin embargo, no se debe exceder a los valores calculados por las ecuaciones **(2.1)** y **(2.2)**.

2.3.6.3 Presión lateral (P)

La presión lateral es el trabajo que ejerce el conductor en dirección radial sobre el aislamiento y revestimiento del mismo que está siendo presionado en una superficie curva sobre su trayectoria cuando es sometido a tensión mecánica.

Es importante tenerlo presente ya que la presión lateral excesiva puede causar fisuras o aplastamientos en el cable, de modo que este parámetro es también restrictivo en el proceso de instalación.

La presión lateral en un conductor depende tanto del radio de curvatura del ducto como de la tensión a la cual está sometido el conductor. En la figura 2.9 se expresa la presión lateral de un conductor.

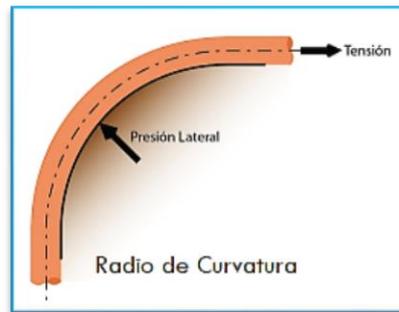


Fig. 2. 9 Presión lateral del conductor.

Fuente: <https://cableselectricos.cl/articulos/guia-tecnica-radio-minimo-de-curvatura/>

La presión lateral es directamente proporcional a la tensión del conductor pero inversamente proporcional al radio de curvatura del ducto. Las siguientes ecuaciones describen la forma de cálculo de la presión lateral:

$$P = \frac{T_0}{r} \text{ (Un solo cable)} \quad (2.3)$$

$$P = \frac{(3c-2)}{3} * \frac{T_0}{r} \text{ (3 Cables en configuración acunada)} \quad (2.4)$$

$$P = \frac{cT_0}{2r} \text{ (3 Cables en configuración triangular)} \quad (2.5)$$

Dónde:

P = Presión lateral (lb/ft)

c = Factor de corrección del peso

T_0 = Tensión de salida en una curva (lb)

r = Radio de curvatura del ducto (ft)

En la Figura 2.10 se muestra la tabla con los valores de radio de curvatura para ductos de diferentes tamaños.

Conduit Size	Area in Sq. In.	Conduit ID in inches	Elbow Centerline Radius in Inches																	
			Std.	12	15	18	24	30	36	42	48									
			Inside Radius - feet																	
1/2	0.30	0.622	0.33																	
3/4	0.53	0.824	0.34																	
1	0.86	1.049	0.44	0.96	1.21	1.46	1.96	2.46	2.96	3.46	3.96									
1 1/4	1.50	1.380	0.55	0.94	1.19	1.44	1.94	2.44	2.94	3.44	3.94									
1 1/2	2.04	1.610	0.62	0.93	1.18	1.43	1.93	2.43	2.93	3.43	3.93									
2	3.36	2.067	0.71	0.91	1.16	1.41	1.91	2.41	2.91	3.41	3.91									
2 1/2	4.79	2.469	0.77		1.15	1.40	1.90	2.40	2.90	3.40	3.90									
3	7.38	3.068	0.96			1.37	1.87	2.37	2.87	3.37	3.87									
3 1/2	9.90	3.548	1.10			1.35	1.85	2.35	2.85	3.35	3.85									
4	12.72	4.026	1.17				1.82	2.33	2.83	3.33	3.83									
5	20.00	5.047	1.79					2.29	2.79	3.29	3.79									
6	28.89	6.065	2.25						2.75	3.25	3.75									

Fig. 2.10 Radio de curvatura de ductos.

Fuente: (The OKONITE company, 2017).

2.3.6.4 Radios de curvatura

Es el máximo doblado que se le puede dar a un cable garantizando que las propiedades eléctricas y mecánicas de sus componentes no se alteren, es decir sin producir daños en el cable y en las capas de aislamiento, en la figura 2.11 se indica el radio de curvatura de un conductor.

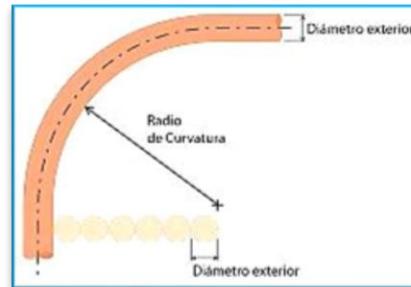


Fig. 2.11 Radio de curvatura del conductor.

Fuente: <https://cableselectricos.cl/articulos/guia-tecnica-radio-minimo-de-curvatura>

La máxima presión lateral que los cables pueden soportar sin causar daños está basada en el número de cables que se halan juntos y en el tamaño del conductor. En la tabla 2.3 se muestra una tabla con el valor de la máxima presión lateral que pueden soportar los cables.

TABLA 2.3 Presión lateral del conductor.

Tipo de Cable	Tamaño del Conductor	
	≤8 AWG	>8 AWG
Un solo cable	300	500
Dos o más cables o conductores (paralelo o plex)	500	1000
Control multiconductor	Todos los tamaños	
Un Cable	500	
Dos o más Cables	1000	
Cables de instrumentos	Todos los tamaños	
Solo par	300	
Multipar	500	

Fuente: THE OKONITE COMPANY , 2012, INSTALLATION PRACTICES.

2.3.6.5 Porcentaje maximo de llenado de cables en ducto

Para garantizar la debida instalación de los alimentadores que se van a utilizar en los ductos se debe calcular basándose a las siguiente formula 2.6 con los porcentajes que se encuentran en la tabla 2.4.

TABLA 2.4 Porcentaje máximo de llenado en ductos.

Número de cables dentro del ducto	1	2	3 o más
Porcentaje maximo de llenado (%)	53	31	40

Fuente: <https://www.slideshare.net/universidadcarabobo/instalacion-de-cables-en-ductosenductos>

$$P = \frac{N \frac{\pi}{4} d^2}{\frac{\pi}{4} D^2} 100 \quad (2.6)$$

Dónde:

P = Porcentaje llenado en ductos, en %

d = Diametro del cable.

N = Número de cables dentro del ducto.

D = Diametro interno del ducto.

2.3.6.6 Factor de corrección del peso (c)

Este factor considera un incremento en la fuerza de fricción que existe en un conductor con configuración triangulo a acunada sobre el ducto, ya que la fricción para este tipo de configuraciones es mayor que al tirar de solo cable como se indica en la figura 2.12.

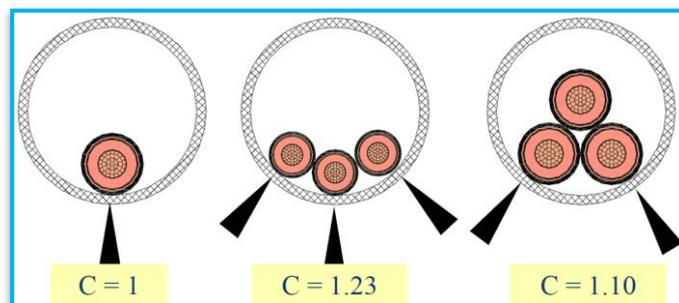


Fig. 2.12 Factor de corrección de peso.
Fuente: The Okonite Company 2017

Este valor se puede calcular mediante las ecuaciones (2.7) y (2.8).

$$C = 1 + \frac{4}{3} * \left(\frac{d}{D-d} \right)^2 \quad (\text{Configuración acunada}) \quad (2.7)$$

$$C = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{d}{D-d} \right)^2}} \quad (\text{Configuración triangular}) \quad (2.8)$$

Dónde:

D = Diámetro del ducto

d = Diametro de un cable

2.3.7 Cálculo de tensión de halado

Sección recta

Para una sección recta, la tensión de halado es igual a la longitud del tramo multiplicado por el peso por pie del cable, número de cables, coeficiente de fricción y el factor de

corrección del peso, por lo tanto se tiene la siguiente expresión para el cálculo de este tipo de tensión es la siguiente:

$$T = L * N * W * f * c \quad (2.9)$$

Dónde:

T = Tensión de halado en secciones rectas (Lb.) W = Peso del cable en libras por pie
 L = Longitud de la recta (ft) f = Coeficiente de fricción
 N = Número de cables c = Factor de corrección del peso

Los valores de coeficiente de rozamiento típicos para este tipo de cálculos son los siguientes:

- 0.5: Cable o ducto seco.
- 0.35: Cable o ducto lubricado.

Tensión mecánica en curvas horizontales

La tensión al salir de una curva se calcula con la siguiente expresión:

$$T_0 = T_{in} * e^{c*f*a} \quad (2.10)$$

Dónde:

T_0 = Tensión de salida en una curva (lb) c = factor de corrección de peso
 T_{in} = Tensión de entrada a una curva (lb) f = coeficiente de fricción
 a = ángulo de curvatura (rad)

Esta ecuación simplificada no considera el peso del cable y es muy precisa cuando la tensión de entrada a una curva es igual o mayor a 10 veces el producto del peso del cable (por pie) con el radio de curvatura (ft). Como se indica en la siguiente expresión:

$$T_{in} > 10 * w * r \quad (2.11)$$

De no cumplirse la expresión (2.11) la tensión de salida en una curva deberá ser calculada con la siguiente ecuación:

$$T_0 = T_{in} * \frac{e^{cfa} + e^{-cfa}}{2} + \sqrt{(T_{in})^2 + (w * r)^2} * \left(\frac{e^{cfa} - e^{-cfa}}{2} \right) \quad (2.12)$$

NOTA: Las variables de las expresiones (2.11) y (2.12) son las mismas descritas para las ecuaciones (2.8) y (2.9).

2.3.8 Cajas de derivación y de empalmes

Una vez conocido el diseño final del recorrido de los alimentadores se puede determinar la ubicación de las misma teniendo en cuenta el cálculo que se realiza para la tensión de halado, con el mismo se llega a determinar también los empalmes respectivos, ya que la tensión de halado no deberá cumplir su valor máximo al cual está diseñado, en el siguiente capítulo 3 se puede encontrar toda esta información que comprende a estos resultados.

2.3.8.1 Diseño y características de las cajas de empalmes

Para el recorrido de los alimentadores, tanto primarios como secundarios se debe utilizar pozos o también llamadas cajas de derivación, las cuales facilitaran la instalación del conductor y también el cambio de dirección del mismo como se encuentra en el recorrido.

En base al cumplimiento al manual de construcción del sistema de distribución eléctrica de redes subterráneas que es emitido por el MERC (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable) y de acuerdo a las especificaciones técnicas de las mismas, se determina que se instalará el pozo **tipo E** el cual se adapta a las necesidades de este proyecto tanto para el conductor con el cual se va a realizar la troncal principal que en este caso sería de 500 kcmil. tipo ERP, y las derivaciones principales con el conductor # 2 del mismo tipo ERP para todo este sistema de distribución y a su vez para los empalmes necesarios en todo el recorrido de los alimentadores.

En la sección 1.11.8.1 se encuentra detallado las características de estas cajas de derivación con sus respectivas tapas.

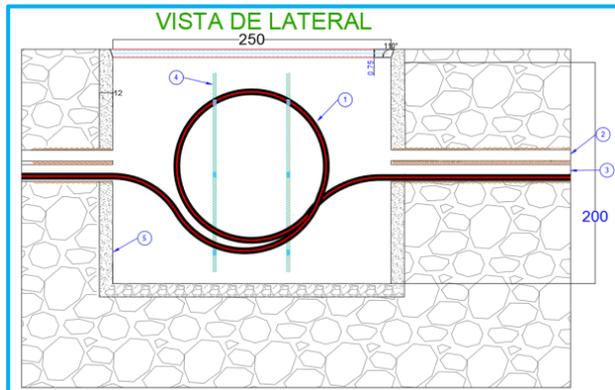
La distancia máxima entres pozos estará determinada dependiendo a los cálculos de halado de tensión del conductores de los diferentes alimentadores, para estos los conductores y accesorios que alberguen estas cajas deberán estar sujetas a la pared de la misma, además deben tener una área limpia y adecuada para realizar trabajos de mantenimiento a red.

Para la construcción de los pozos y ductos se debe verificar de antemano con las identidades correspondientes que no existan instalaciones de agua potable, alcantarillado, teléfonos, energía eléctrica, etc., para no causar daños a esas instalaciones.

Para realizar cualquier tipo de recorrido de los alimentadores o instalación de un sistema en medio voltaje de tipo subterráneo se debe considerar implementar una caja adicional a todo el recorrido, la cual nos sirve para tener una reserva del conductor por imprevistos que se puedan presentar en las conexiones entre las cámaras de seccionamiento, empalmes que se pueden encontrar en el recorrido, o daños en la red. Estas cajas deberán ser

instaladas antes y después de donde se va a realizar los diferentes empalmes o conexiones, básicamente comprende en realizar un tipo de espiral al conductor teniendo en cuenta el radio de curvatura máxima.

En la figura 2.13 se indica el diseño de este tipo de cajas la cual esta detallada con sus respectivas partes.



Simbología

1. Cable de Aluminio aislado 3 X #500 MCM.
2. Tuberia de Ø 4"
3. Tuberia de Ø 6"
4. Soporte metalico
5. Caja de concreto armado de 250 X 200 X 200 cm.

Fig. 2.13 Diseño de una caja de derivación.
Fuente: (Propia)

2.3.8.2 Empalme de medio voltaje

En el proceso de instalación del conductor, como fue mencionado anteriormente el empalme de medio voltaje será utilizado para unir los finales de los conductores, cuando la tensión de halado haya cumplido un valor recomendable para el cual fue fabricado.

El papel fundamental de un empalme es de reconstruir las porciones de capas de aislamiento del cable que fueron removidas y así proporcionar protección contra la humedad sobre el área empalmada las características principales se las detalla en la sección 1.17. En la figura 2.14 se indica un empalme en medio voltaje con las partes que conforman el mismo.

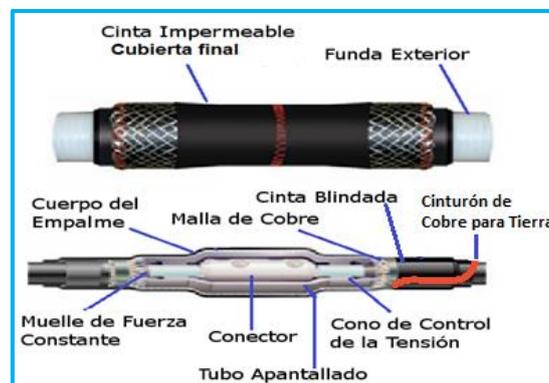


Fig. 2.14 Empalme en medio voltaje.
Fuente: TE connectivity, 2008

En la figura 2.15 se indica el diseño en vista de lateral de este tipo de cajas de con sus empalmes y demás elementos con su respectivo grado de curvatura determinado por el fabricante.

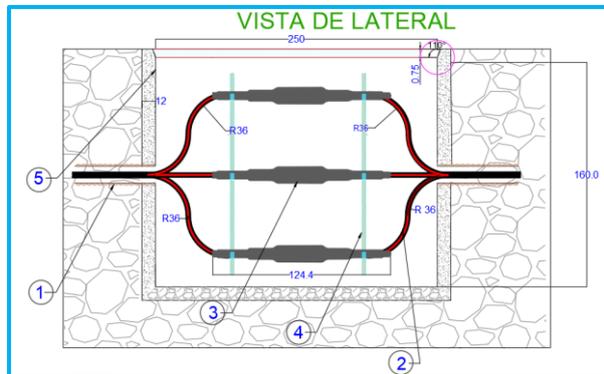


Fig. 2.15 Diseño de una caja de derivación.
Fuente: Autor.

Simbología

1. Tubería corrugada HDPE 150 mm (6") diámetro interno.
2. Cable de Aluminio 500 MCM., EPR, 15 kV.
3. Empálme de medio voltaje.
4. Soporte metalico
5. Caja de concreto armado de 2500 X 2000 X 2000 mm.

2.3.9 Instalación del empalme en medio voltaje

2.3.9.1 Extracción de la cubierta

En el proceso de instalación del empalme se parte en la preparación del conductor para la extracción de la cubierta exterior del cable, se realiza cortes circulares en la capa exterior, con la herramienta diseñada para este trabajo o en su caso con una cuchilla de corte diseñada para este tipo de conductor, posteriormente se realiza cortes longitudinales a lo largo del conductor para retirar la cubierta teniendo cuidado en no dañar el conductor. En la imagen 2.16 se indica las medidas para realizar el corte correcto dependiendo el tipo de conductor que se quiere empalmar.

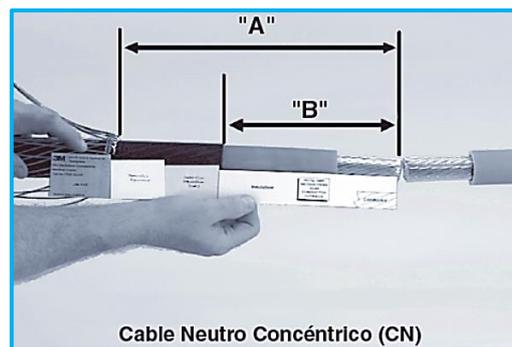


Fig. 2.16 Medidas para el corte de las capas de aislamiento del Conductor.
Fuente: (3M , 2007)

Con referencia a los cortes que se deben realizar en los conductores se tiene la tabla 2.5 en donde se define las respectivas medidas.

TABLA 2.5 Medidas para el corte del conductor.

Rangos de tamaños del conductor Kcmil (mm ²)	Diámetro Exterior Aislamiento Primario Pulgadas (mm ²)	Corte de la Cubierta "A" Pulgadas (mm ²)	Corte capa semi- con "B" Pulgadas (mm ²)
350 – 500 (185 – 300)	1.24 – 1.70 (31,5 – 43,2)	15 ¾ (400)	9 ¼ (235)
750 – 1000 (325 – 500)	1.59 – 2.07 (40,4 – 52,6)	15 ¼ (387)	8 ¾ (222)

Fuente: (3M , 2007).

Para retirar la capa semiconductor se realiza un corte longitudinal hasta el final del recorrido de la capa anterior, se retira la capa semiconductor manualmente.

Para retirar el aislamiento del cable se realiza un corte con la cuchilla, teniendo en cuenta el espesor del aislamiento y así no dañar el conductor.

Se verifica las dimensiones de la punta del conductor con el fin de obtener las longitudes deseadas para los hilos de tierra que se encuentran alrededor del conductor, y los cortes realizados en la capa semiconductor, con las medidas respectivas para realizar el empalme.

2.3.9.2 Introducción del empalme y conexión

Se realiza la introducción del empalme sobre el lado de uno de los cables con la tira plástica por delante. Se coloca el conector torquimétrico, el cual está compuesto en aleación de aluminio especial estañado, posee característica bi-metálica siendo adecuado para cables de potencia con conductor de cobre o de aluminio.

Los tornillos torquimétricos están proyectados para romperse en el torque requerido y exacto para garantizar un contacto eléctrico estable a lo largo de su vida útil. El rompimiento del tornillo torquimétrico ocurre al cuerpo del conector eliminando protuberancias indeseables. El diámetro sobre el aislamiento es por alrededor de los 27,5mm, en la figura 2.17 se indica la instalación de estos conectores.



Fig. 2.17 Instalación del conector torquimétrico.
Fuente: (3M , 2007).

Una vez al estar instalado el conector se verifica las dimensiones entre las capas semiconductoras externas y entre los aislamientos como se aprecia en la figura 2.18, se realiza la limpieza del aislamiento utilizando un paño o una toalla impregnada con alcohol

isopropílico para luego retirar los sellados del empalme que se utiliza para proteger el mismo de la polución del medio ambiental.

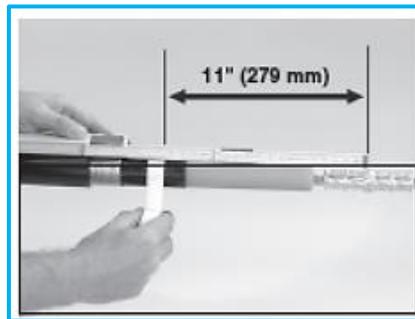


Fig. 2. 18 Verificación de medidas.
Fuente: (3M , 2007).

Se retira el sellado de los extremos del empalme desplazándolo y centrándolo sobre el conector de la unión y comprobando el centrado, se realiza la conexión de los cables del neutro concéntrico.

Para finalizar se unta el lubricante para rellenar cualquier vacío que se encuentre en las capa aisladora, se finaliza colocando las citas aislantes en todo la sección donde se realizó el empalme.

2.3.9.3 Puesta a tierra del empalme en medio voltaje

Al finalizar todo este proceso al extremo de uno cables (No sobre los neutros) se instala el cinturón de cobre preformado para puesta a tierra alrededor de la funda de cobre estañado, entre la cubierta del cable y el resorte de fuerza constante, coloque los extremos del cinturón sobre la cubierta del cable. En la figura 2.19 se indica este proceso. Se procede asegurar el cinturón de tierra a la pantalla del conductor utilizando un resorte de fuerza constante, finalmente se aplique la cinta de vinilo sobre el resorte, para luego instalar la cubierta exterior que sería el sellado final del empalme.

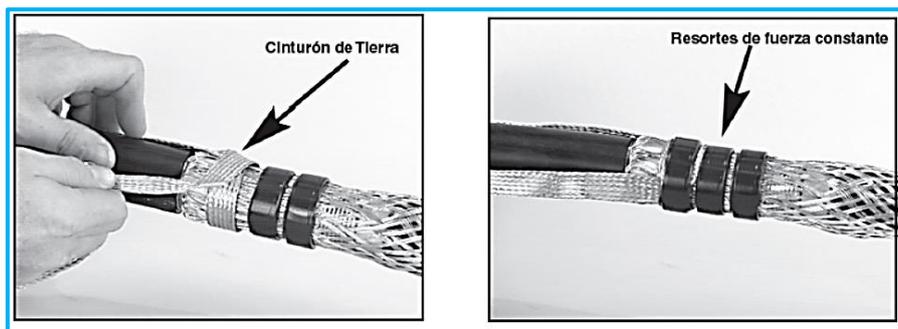


Fig. 2.19 Instalación de la puesta a tierra del empalme.
Fuente: (3M , 2007).

En la imagen 2.20 se indica el proceso y acabado final de un empalme termo contraíble en frío.

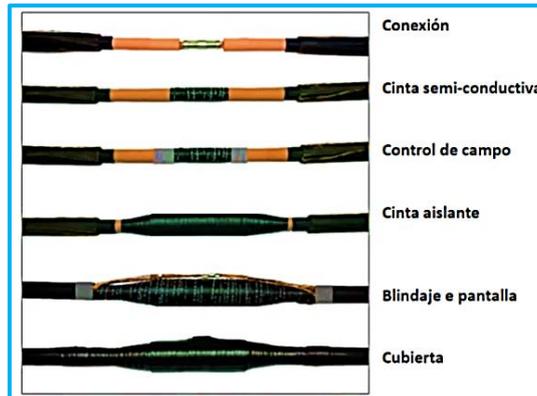
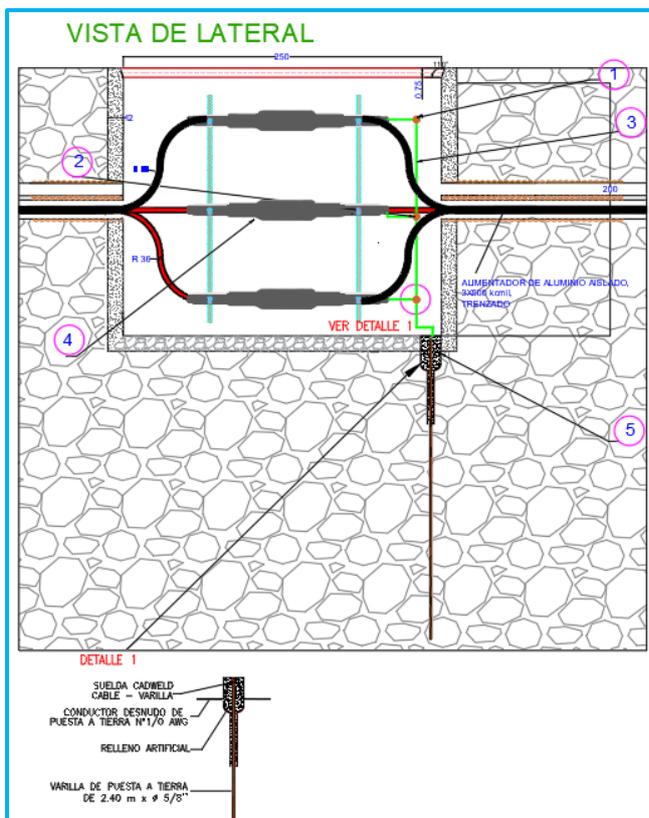


Fig. 2.20 Acabado final de un empalme termo contraíble.
Fuente: (3M , 2007).

Cabe recordar que en cada caja en donde se ubican los empalmes se realiza la conexión a tierra, las mismas que en su interior constan de un sistema de puesta a tierra que conforma de una Varrilla tipo copperweld de una longitud de 2.40 m. con diámetro nominal de 15,87 mm (5/8"), y un revestimiento de cobre de alta camada mínimo 254 micras, como esta descrito en las normas de construcción del MEER sección 3.

En la figura 2.21 se indica el diseño de este sistema de puesta a tierra en las cajas de empalmes



Simbología

- 1. Soldadura exotermica unión cable
- 2. pasante – varilla 5/8" x 2.4 m. .
- 3. Soldadura Tipo T Horizontal.
- 4. Conductor cobre desnudo de 1/0 AWG.
- 5. Empalme en frio de medio voltaje.
- 6. Tubo de Ø 4" para punto de revisión.

Fig. 2.21 Conexión puesta a tierra de un empalme.
Fuente: Autor

2.3.10 Equipos y accesorios que conforman una cámara de seccionamiento subterránea tipo Iceberg.

Para la construcción del sistema de distribución en medio voltaje, se ha propuesto una estructura prefabricada, para uso subterráneo, envolvente, monobloque que responde a los requerimientos de la Ciudad del Conocimiento “Yachay”, las cuales se adaptan perfectamente a los esquemas de distribución eléctrica, que han sido concebidos, permitiendo la instalación de toda la aparamenta y accesorios que completan el centro de transformación.

Los centros de transformación subterráneos de la gama Iceberg responden a los diferentes tipos de centros de transformación MV/BV, adaptándose perfectamente a los esquemas de distribución pública como se indica en la figura 2.22, permitiendo garantizar la calidad de todo el conjunto en la misma unidad de producción, a excepción de la conexión de cables de entrada y salida.

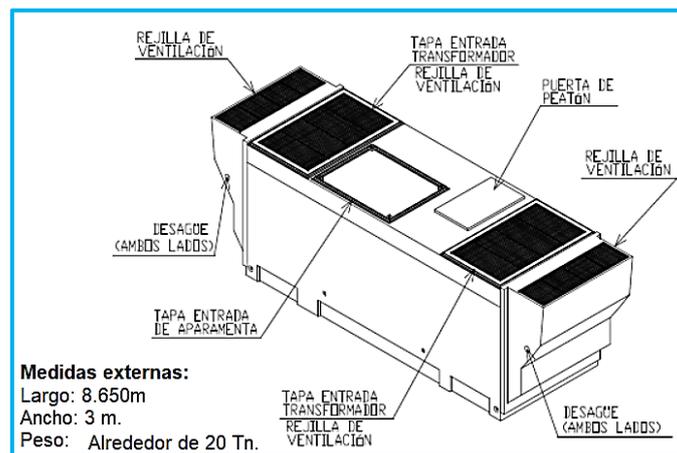


Fig. 2. 22 Cámara de transformación subterránea tipo Iceberg.
Fuente: (Schneider Electric, 2012).

2.3.10.1 Elementos de una cámara de seccionamiento

Envolvente

La envolvente se caracteriza por su diseño monobloque. Todos los materiales externos son resistentes a las variaciones de temperatura y a la acción de los rayos ultravioletas, este conjunto de la envolvente, está diseñado para ser estanco a la entrada de líquidos tanto para las el ingreso de las aparamentas como del personal.

En la figura 2.23 se indica la envolvente de una cámara de seccionamiento con ventilación horizontal.



Fig. 2.23 Envoltorio de una cámara de seccionamiento para dos transformadores.
Fuente: (Schneider Electric, 2012).

Accesos

Los accesos de los equipos eléctricos, peatonal y transformador son independientes, como se puede encontrar en la figura 2.24. Las partes metálicas que quedan vistas exteriormente son reducidas y el diseño de estas tapas permite un remate de altura 4 cm que permite personalizar la cubierta (baldosa, grava, cemento de acabado, etc.).

Las dimensiones de los accesos son:

- **Tapa materiales:** 2000x1555 mm.
- **Tapa hombre:** 1300x700 mm.
- **Tapa transformador:** 1265x2220 mm.



Fig. 2.24 Acceso (Puertas).
Fuente: (Schneider Electric, 2012).

Malla de protección del transformador

El transformador se protege con una defensa metálica de chapa para evitar el paso de aire caliente del transformador a la sala de celdas, está diseñado un sistema de puerta corrediza para facilitar su apertura en caso de inspección del transformador. En la figura 2.25 se indican los equipos que se encuentran en el interior de la cámara.



Fig. 2.25 Vista interior de las cámaras.
Fuente: (Schneider Electric, 2012).

Cesta de recogida de residuos

Las cámaras de seccionamiento tipo Iceberg con ventilación horizontal, incorpora una cesta de recogida de residuos que permite la limpieza de las arquetas de ventilación de manera fácil, rápida y cómoda como se puede observar en la figura 2.26.



Fig. 2.26 Cesta de recogimiento de residuos
Fuente: (Schneider Electric, 2012)

2.3.10.2 Características técnicas

Están diseñadas de una estructura prefabricada de hormigón armado, con resistencia a compresión igual o superior a 350 daN/cm² a los 28 días y diseñadas para ser instaladas en condiciones de temperatura de entre -15°C y 50°C con ambientes de humedad relativa máxima del 100%. Todos los materiales externos son resistentes a las variaciones de temperatura y a la acción de los rayos ultravioletas (Schneider Electric, 2012).

Grados de protección

El grado de protección contra el acceso a zonas peligrosas, entrada de objetos sólidos extraños y entrada de agua es según norma IEC 60529.

Los diferentes tipos de ensayos se los puede verificar de acuerdo de acuerdo al apartado 6.6. de la UNE-EN 62271-202.

- El grado de protección en la variante ventilación vertical es de IP 23D.
- El grado de protección en la variante ventilación horizontal es de IP 25D.
- El grado de protección contra impactos IK10. (Schneider Electric, 2012).

Arco interno

Las cámaras de seccionamiento tipo "Iceberg" tienen la clasificación clase IAC- 16kA 1s con respecto a la protección de las personas en caso de arco interno en el lado de medio voltaje, estos ensayos han sido realizados según la norma UNE-EN 62271-202.

Estos ensayos cubren los casos de defectos resultantes de un arco que se produzca dentro del centro de transformación como se indica en la figura 2.27, En la apartamenta de media voltaje y en las interconexiones de las misma tanto con todas las puertas cerradas (Norma IAC-B) o con las puertas usadas para dar acceso al personal abierta (Norma IAC-A). (Schneider Electric, 2012).



Fig. 2.27 Ensayo del arco interno.
Fuente: (Schneider Electric, 2012).

Equipotencialidad

Toda la armadura metálica que se encuentra dentro del hormigón constituye un sistema equipotencial esto se consigue mediante soldadura eléctrica de dicha armadura. Todos los elementos metálicos interiores están conectados a un anillo de tierras perimetral cerrado realizado con cable desnudo de cobre de 50mm².

Estas cámaras de seccionamiento en la fábrica son sometidas a diferentes ensayos de equipotencialidad, comprobando que todos los elementos metálicos internos se encuentran unidos a la red de tierras y que el valor de la resistencia entre ellos es 0Ω. El aislamiento de las partes metálicas externas, como puertas y ventilaciones, aplicando 500 Vcc y verificando que la resistencia entre estos elementos y el sistema equipotencial es > 10KΩ (Schneider Electric, 2012).

Estanqueidad

Los techos están diseñados para que se impidan las filtraciones y la acumulación de agua sobre ellos. Para conocer la eficiencia de este sistema se pone a prueba con una columna de agua de 30cm de altura durante un periodo de 24h.

En la figura 2.28 se indica el sistema de ventilación, sistema de recuperación de aguas fluviales y el sistema de desagüe.



Fig. 2.28 Sistema de ventilación, recuperación de aguas fluviales y desagües.
Fuente: (Schneider Electric, 2012).

Impermeabilidad

En las entradas de los alimentadores se consigue mediante el sistema flexible Roxtec. Este sistema está diseñado para una adaptabilidad basado en módulos de goma con capas desmontables que ofrece un sellado perfecto y hermético contra la entrada de agua, contra la presión, arena y la suciedad propia del medio, convirtiéndose en un sistema compacto con las paredes de la envolvente para las entradas de los alimentadores a las cámaras de seccionamiento.

Para la instalación de este sistema se debe elegir dos grupos los cuales se describen a continuación:

- **Grupo CM:** Los marcos, módulos y sellos compactos del Grupo CM se basan en una profundidad estándar de 15-40 mm.
- **Grupo RM:** Este grupo comprende los marcos, módulos y sellos se basan en una profundidad estándar de 60 mm.

En la figura 2.29 se indica todo este sistema de sellado.



Fig. 2.29 Sistema Roxtec
Fuente: (Roxtec , 2015)

2.3.10.3 Ubicación de las cámaras de seccionamiento

Con la determinación del área que se encuentra en la sección 2.3.1 se ha establecido una zona para cada cámara de seccionamiento, y dentro de cada zona se ha ubicado la cámara correspondiente, y que sean cerca del centro de carga.

Bajo este criterio la distribución para cada cámara de seccionamiento queda como se muestra en la tabla 2.6, basada a la proyección de la demanda, esta zona pertenece únicamente al Distrito 1. Para el Distrito 3 y el sector ubicado al sur del Distrito 1.

En el área de Yachay E.P. han sugerido instalar únicamente 1 cámara de seccionamiento debido a que es una zona rural y la demanda es mucho menor, alrededor de 50 kW por microárea como se puede observar en la tabla 2.6, únicamente se tiene una microárea con una demanda elevada en el sitio donde se encuentra el Instituto Tecnológico Superior 17 de Julio.

TABLA 2.6 Distribución de microáreas para cámaras de seccionamiento – Distrito 1.

MY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.98	10.54	0.00	0.00	0.00		
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	117.63	28.26	234.11	0.00	0.00		
2	0.00	0.00	0.00	0.00	57.00	443.53	808.18	479.75	82.80	0.00		
3	0.00	0.00	0.00	0.00	492.80	500.00	422.00	857.40	1200.00	262.63	253.46	161.49
4	0.00	0.00	159.38	170.92	95.48	1214.15	386.76	309.98	530.97	143.87	0.00	
5	0.00	0.00	104.37	264.51	450.00	142.11	950.00	0.00	0.00	0.00		
6	0.00	0.00	0.00	10.37	181.85	346.91	58.48	0.00	0.00	0.00		
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		

Fuente: Personal técnico de estudio Yachay.

TABLA 2.7 Microáreas para la cámara de seccionamiento C1 – Distrito 3.

MICROÁREAS - DISTRITO 2							
		65.16924	55.0734	53.84904			
		47.4012	67.84596				
			49.10208				
			78.41148				
		55.4838	51.87	54.68124			
20.4297804	38.10792	71.22726236	400				
53.9448	51.81756	55.7696089	44.08287046				
	23.4612	106.27992	169.37664	187.2564	123.63984		173.27088
130.99056	183.25728	186.30336	186.30336	112.11216	163.96848	140.6532	

Fuente: Personal técnico de estudio Yachay.

La nomenclatura para las cámaras de seccionamiento es X-0, donde X representa el nombre del alimentador y 0 el número de cada cámara. Así por ejemplo la primera cámara de seccionamiento del alimentador A se nombrará A-1. En la tabla 2.8 se identifica por colores la cámara de seccionamiento asignada a cada zona.

TABLA 2.8 Cámara de seccionamiento asignada a cada zona.

A-1
A-2
B-1
B-2
B-3
C-1

Fuente: Personal técnico de estudio Yachay.

En la Figura 2.30 se muestra la ubicación y el trayecto de la troncal principal de los alimentadores A, B y C. Algunas cámaras debieron ser reubicadas de su posición inicial (según el centro de carga calculado) con el objetivo de evitar curvas innecesarias en el trayecto de los alimentadores y facilitar la conexión a toda la zona establecida para cada cámara de seccionamiento debido también porque en el sitio establecido inicialmente no existe el espacio necesario para instalarla. La cámara de seccionamiento C-1 se la ha ubicado cerca del Circuito M-5 que parte desde la Subestación Alpachaca con el objetivo de tener opción a una conexión en ese punto para usar como respaldo en caso de tener algún tipo de falla en el Alimentador C principalmente en el tramo desde la subestación Yachay hasta la cámara C-1.

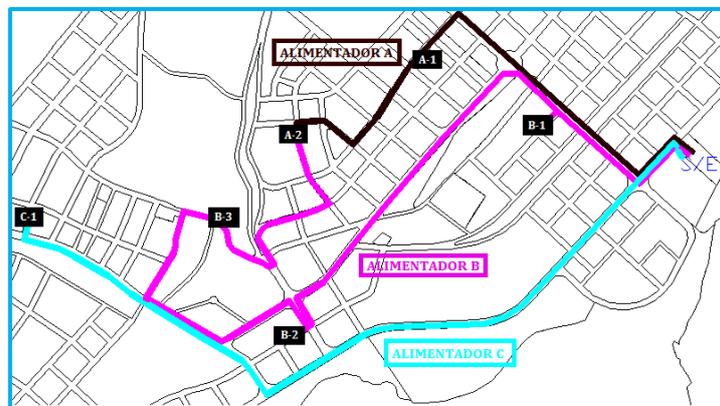


Fig. 2.30 Ubicación de cámaras de seccionamiento para Distritos 1 y 3.
Fuente: Personal técnico de estudio Yachay.

En la tabla 2.9 se especifica la ubicación geográfica de cada cámara de seccionamiento (la ubicación geográfica hace referencia a la caja eléctrica desde donde entrará el cableado a la cámara).

TABLA 2.9 Ubicación de las cámaras de seccionamiento.

CÁMARA	UBICACIÓN		
	REFERENCIA	GEOGRÁFICA	
		X	Y
A-1	Calle T1, entre las calles D6 y D7.	815215.0990	10045315.4972
A-2	Calle C3, entre las calles T2 y T1.	814778.3998	10044960.0237
B-1	Calle C16, entre las calles C8 y D6.	815667.6304	10045069.9785

B-2	Calle L3, entre las calles E8 y C2SUR.	814754.5176	10044266.5577
B-3	Vía Urcuqui – Yachay (Calle Imbabura), intersección con la calle G2.	814465.2894	10044709.2456
C-1	Calle E3, entre las calles L7 y C14.	813784.6770	10044698.1624

Fuente: Personal técnico de estudio Yachay.

En las Figuras 2.31 y 2.32 se muestra las zonas de servicio establecidas para cada cámara de seccionamiento de los Distritos 1 y 3 respectivamente (son las zonas que se especifican en las tablas 2.6 y 2.7 ubicadas en el plano de Yachay).



Fig. 2.31 Zona de servicio asignada para la cámara C-1 – Distrito 3.

Fuente: Personal técnico de estudio Yachay.

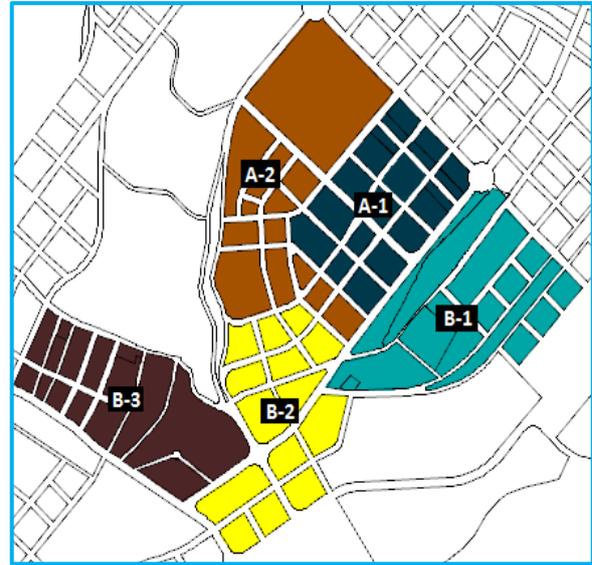


Fig. 2.32 Zonas de servicio asignadas para cada cámara de Seccionamiento – Distrito 1.

Fuente: Personal técnico de estudio Yachay.

2.3.10.4 Excavación e instalación

Debido a sus características de construcción y diseño compacto, brinda facilidad para la instalación con rapidez en obra. Tras la previa excavación del terreno y la preparación de una capa de arena compactada y nivelada sobre otra de hormigón que será sobre una capa de arena de 10 cm de espesor aproximadamente correctamente nivelada, sobre una base estabilizada de registro exenta de puntos duros, los trabajos de colocación del centro y conexión de los cables de acometida de entrada y salida pueden realizarse con costes reducidos en un día. En la figura 2.33 se puede observar la instalación de estas cámaras con un brazo grúa.



Fig. 2. 33 Instalación de una cámara de seccionamiento.
Fuente: (Schneider Electric, 2012)

Las dimensiones en planta de la excavación varían dependiendo del terreno, por lo que se recomienda tener en cuenta para su ejecución las disposiciones mínimas de seguridad. En la figura 2.34 se indica el espacio óptimo libre de obstáculos que hay que prever para instalación de esta cámara de seccionamiento.

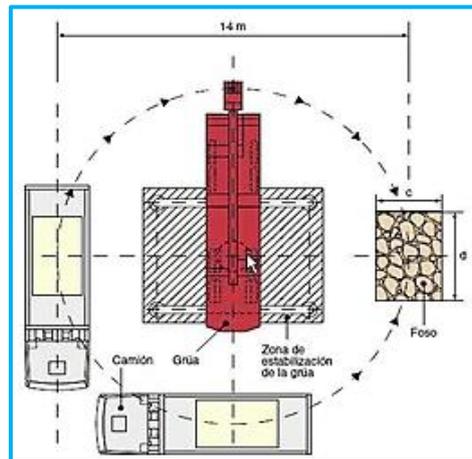
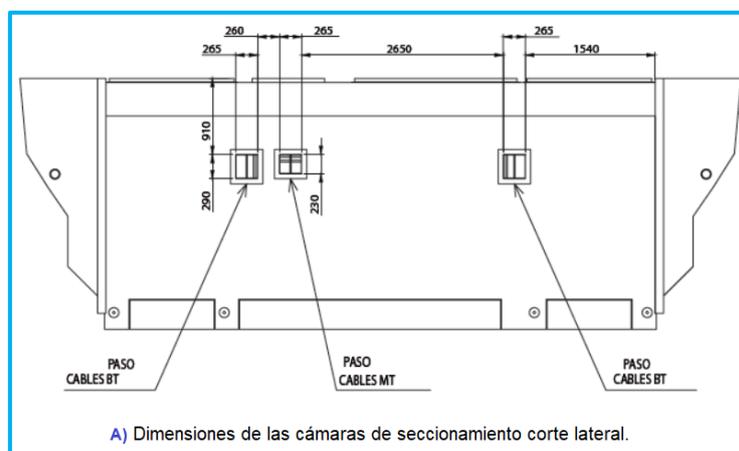


Fig. 2.34 Espacio óptimo para la instalación.
Fuente: (Schneider Electric, 2012)

Para la instalación de este tipo de cámara se debe considerar las medidas generales de la misma como se indica en la figura 2.35.



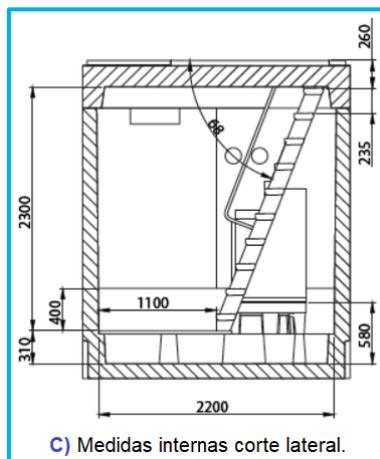
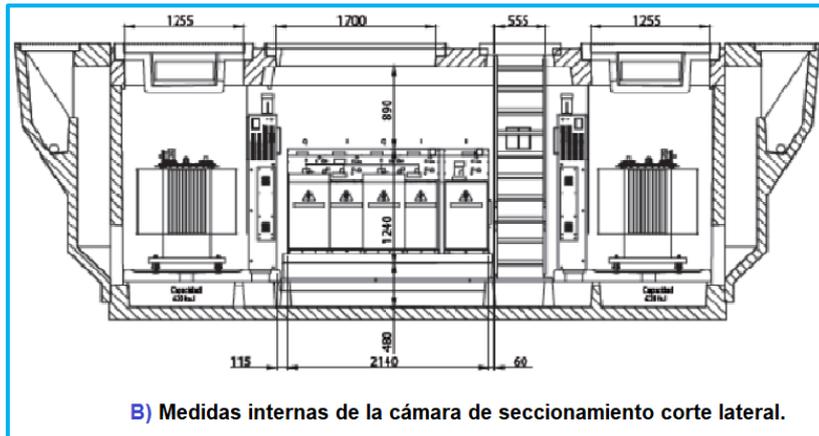


Fig. 2.35 Medidas generales de las cámaras de seccionamiento.
Fuente: (Schneider Electric, 2012).

2.3.10.5 Descripción de la cámara de seccionamiento

En la figura 2.36 se detalla todas las partes que comprenden este tipo de cámaras, con las cuales se conocerá su funcionalidad y así se dará un uso correcto en el proceso de instalación de la misma.

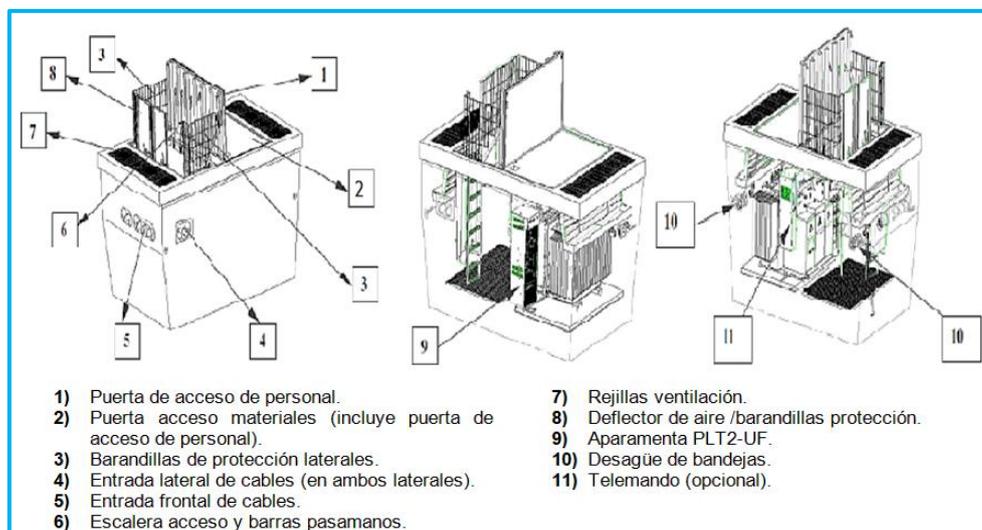


Fig. 2.36 Descripción de la cámara de seccionamiento
Fuente: (Schneider Electric, 2008)

Para la manipulación y carga de las cámaras de seccionamiento para la ubicación en el terreno, existen cuatro puntos destinados para esta función denominados **(A)**, dos en la parte delantera y dos en la parte posterior como se indica en la figura 2.36.

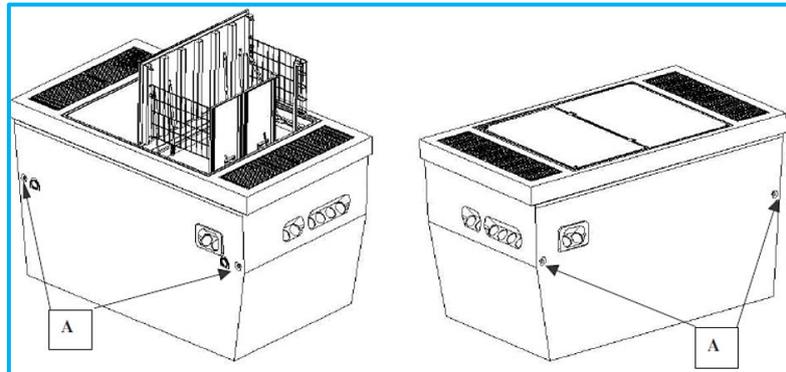


Fig. 2.37 Puntos de manipulación.
Fuente: (Schneider Electric, 2008)

2.3.10.6 Introducción de los alimentadores de medio voltaje

En la parte exterior de la envoltura existen accesos diseñados en las tres paredes (una frontal y dos laterales) para la entrada y salida de cables, con una dimensión de 150 mm. como se indica en la figura 2.37.

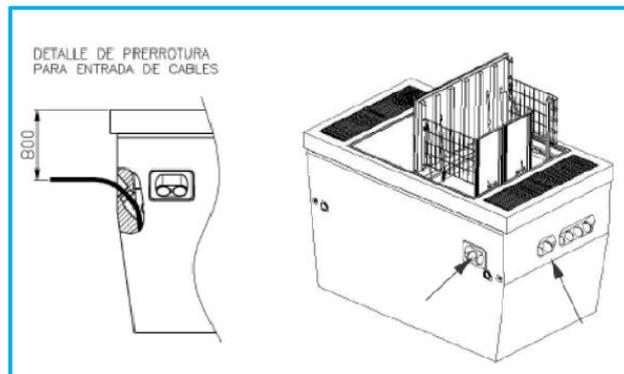


Fig. 2.38 Acceso para introducción del conductor.
Fuente: (Schneider Electric, 2008)

Para el proceso del paso de cables, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Se debe romper desde el interior de la cámara los prehuecos que están diseñados
2. Introducir los cables empujándolos desde la caja de revisión que se encuentra en el exterior.
3. Retirar los paneles frontales de las celdas de seccionamiento correspondientes a cada cámara de seccionamiento.
4. Guiar los cables junto a la pared hasta llegar al fondo del centro. Pasar los cables por debajo del suelo técnico de tramex (rejillas). En la figura 2.38 se indica este proceso.



Fig. 2.39 Instalación del conductor.
Fuente: (Schneider Electric, 2008)

5. Se debe halar los cables hasta sacarlos por el interior de la celda, justo por el hueco dejado al retirar los paneles frontales de la misma.
6. Una vez colocados los cables en su posición sobre las bornas de la celda y debidamente apretados, se procederá a fijar los mismos sobre las bridas colocadas a tal efecto en cada compartimento de cables de la celda y a conectar los latiguillos de tierra de los cables, sobre el colector dispuesto para ello.
7. Una vez realizadas todas estas operaciones, se dejará en el interior del prefabricado (parte inferior) la longitud del cable que se considere oportuno que sería como una reserva adicional, se deberá tener en cuenta el radio de curvatura correspondiente al cable a utilizar, en este caso al utilizar el conductor tipo ERP de 500 MCM. Se debe considerar un radio de curvatura de 36° , correspondiente a sus características técnicas.
8. Posteriormente se procederá al sellado por el interior de los cables en los orificios ya diseñados en la envoltura del prefabricado, para este proceso se recurre al sistema Roxtec anteriormente ya mencionado en la sección 2.3.10.4.

2.3.10.7 Puesta a tierra de las cámaras de seccionamiento

La importancia de esta instalación es de impedir las tensiones eléctricas que se encuentre con respecto a tierra,

- **Tensión de contacto:** Esta pueda presentarse en un momento determinado por los puntos metálicos de la cámara y un punto de la superficie del terreno.
- **Tensión de paso:** Estas tensiones eléctricas se pueden presentar entre varios sitios del suelo en la zona de la puesta a tierra, separadas por una distancia de un paso que se asimila a un metro, considerando todas las resistencias que intervienen en el circuito y estimándose la del cuerpo humano en 1.000 ohmios. (Palenciano, 2011)

Herrajes

Estas cámaras de seccionamiento están diseñadas con un sistema de protección a tierra de herrajes la cual comprende por un anillo perimetral de la misma, donde están conectados todos los colectores de tierra de la plataforma (celda, sistema eléctrico de bajo voltaje B.V. y transformador), así como todas las partes metálicas que conforman la misma.

Neutro

La tierra del neutro se debe hacerla conjuntamente con los cables de salida de medio voltaje, esta conexión se realizara con el conductor de cobre calibre 2/0 AWG.

Este cable vendrá directamente desde la red de neutro exterior y se introducirá en el prefabricado a través de uno de los plugs de M.V, el procedimiento para la instalación de este conector de neutro, se realizará de la misma manera que para los cables de B.V. y su conexión se hará directamente a la barra de neutro del cuadro de B.V.

Para realizar el cálculo aproximado de la resistencia de puesta a tierra se utiliza la expresión de Laurent:

$$R = \frac{Pe}{4\sqrt{S/\pi}} + \frac{Pe}{L} + [Ohms] \quad (2.12)$$

Dónde:

Pe: Resistividad equivalente del terreno [Ohm-m]

S: Superficie que cubre la malla [m^2]

L: Longitud total de conductores de la malla [m].

En la figura 2.40 se puede apreciar un esquema general de una malla de puesta a tierra.

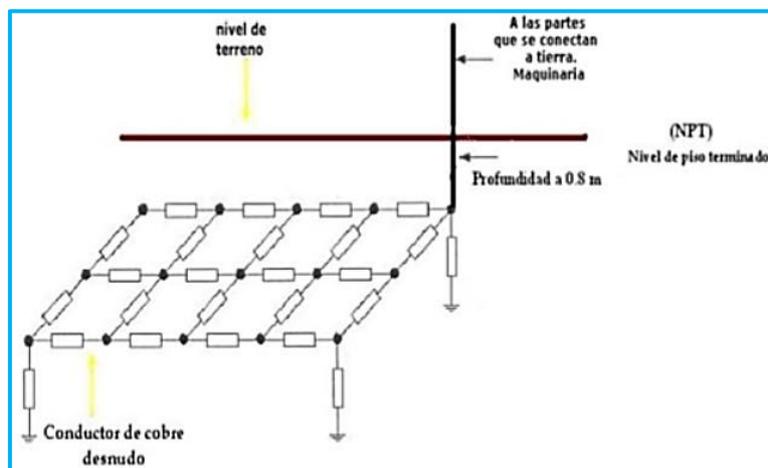


Fig. 2.40 Esquema general de una malla a tierra.

Fuente: <https://es.slideshare.net/marcopunk/puesta-a-tierra-15009763>

2.3.11 Celdas de seccionamiento.

En la implementación de las celdas para el sistema de distribución en medio voltaje de la ciudad de Yachay se va a instalar las celdas en (Hexafluoruro de azufre - SF6) de tipo FBX con aislamiento de gas de hasta 24 Kv, las cuales estarán instaladas en las diferentes cámaras de seccionamiento.

Como primer punto es importante indicar que las celdas de seccionamiento están básicamente diseñadas para una función específica en un centro de distribución eléctrica tales como son: de una celda de ingreso, una celda de salida y varias celdas para carga según corresponda el diseño.

Las celdas para carga se añadirán dependiendo de las necesidades, en el caso de que se necesiten más celdas, la cámara tiene la capacidad física de albergar alrededor de 6 celdas por cámara.

En la tabla 2.10 se indica los tipos de celdas con sus respectivas medidas.

TABLA 2. 10 Tipos de celdas y medidas de las celdas de seccionamiento.

MEDIDAS Y TIPOS DE CELDAS DE SECCIONAMIENTO			
TIPOS	ANCHO (mm.)	ALTURA (mm.)	PROFUNDIDAD (mm.)
Celda de entrada y celda de Salida (FBX- C)	360	1380	873
Celda de reconexión de barras (FBX-SB)	680	1380	752
Celdas para carga (FBX-CB)	490	1380	873

Fuente: (Schneider Electric., 2015)

2.3.11.1 Diseño general de las celdas para las cámaras de seccionamiento.

Basándose al estudio respectivo se ha diseñado instalar tres tipos de conexiones de celdas para satisfacer la demanda, el correcto funcionamiento y cumplir los requerimientos de los alimentadores de toda la troncal principal y sus derivaciones los cuales son: A, B, C, D del sistema de distribución de medio voltaje.

Se ha denominado a las cámaras soterradas de seccionamiento que van a ser instaladas en todo el recorrido de la ciudad de Yachay de la siguiente forma:

- A1, A2, B1, B2, B3, C1, D1, D2.

A continuación se describe los tipos de celdas que van a ser instaladas en las cámaras de seccionamiento dependiendo del requerimiento del diseño de distribución:

2.3.11.2 Cámaras de seccionamiento tipo A1, B1, B2, B3, D1:

Estas cámaras de seccionamiento están compuestas por dos tipos de celdas y constan de la siguiente configuración: FBX-C, FBX-C, FBX-CB, FBX-CB, en la figura 2.30 se muestra su diagrama unifilar.

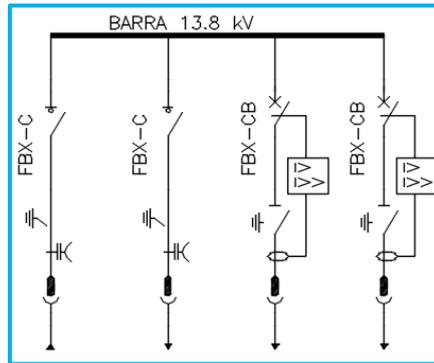


Fig. 2.41 Diagrama unifilar de la conexión de celdas en las cámaras A1, B1, B2, B3.
Fuente: Diseño final Yachay.

Se debe tomar en cuenta que en la cámara de seccionamiento denominada como **B3**, en vista que están diseñadas con un espacio adicional disponible, se va a instalar en su interior un transformador tipo Padmounted de 150 kVA, el cual alimentara la zona residencial ya existente en del distrito 1.

2.3.11.3 Cámaras de seccionamiento tipo C1, D2:

Estas cámaras de seccionamiento están compuestas por dos tipos de celdas y constan de la siguiente configuración: FBX-C, FBX-CB, FBX-CB en la figura 2.31 se muestra su diagrama unifilar.

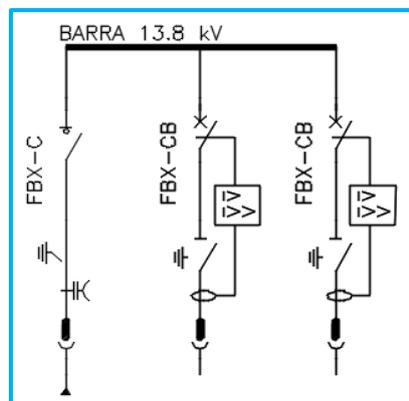


Fig. 2.42 Diagrama unifilar de la conexión de celdas en las cámaras C1, D2.
Fuente: Diseño final Yachay.

2.3.11.4 Cámaras de seccionamiento tipo A2:

Estas cámaras de seccionamiento están compuestas por tres tipos de celdas que constan por el siguiente diseño: FBX-C, FBX-CB, FBX-C, FBX-SB, por la característica del diseño en esta cámara poseen la celda de reconexión con la cual se ha determinado que en esta cámara se realizara la interconexión de la configuración en anillo de los alimentadores A y B del sistema de distribución en medio voltaje, en la figura 2.32 se indica su diagrama unifilar.

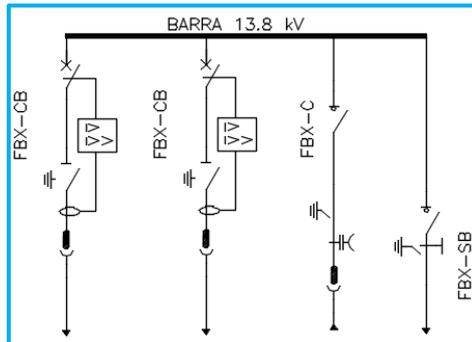


Fig. 2.43 Diagrama unifilar de la conexión de celdas en las cámaras A2.
Fuente: Diseño final Yachay.

2.3.12 Relés de protección

Esta etapa es muy importante, ya que con la implementación de estos equipos de protección brindara un mejor funcionamiento de todo este sistema de distribución eléctrica, estos equipos son dispositivos digitales compactos instalados en cada una de las cámaras de seccionamiento de toda la ciudad; están diseñados para detectar anomalías dentro de la red o el recorrido de toda la alimentación tanto como troncal principal como derivaciones que saldrían de las celadas de seccionamiento, con esto es la de evitar la destrucción de los equipos instalados, dando una señal para desconectar el circuito por causa de alguna falla.

2.3.12.1 Relé VAMP 300F

Por sus características técnicas y su amplio rango de funcionamiento y protección, es ideal para este tipo de sistema de distribución eléctrica en medio voltaje.

Se debe tener una elección adecuada de estos equipos, siendo esta implementación en medio voltaje importante para esta ciudad de Yachay y acorde con vanguardia tecnológica.

Este tipo de relé se implementa en cada cámara de seccionamiento que están implementadas en todo el recorrido de la ciudad de Yachay, el cual nos brinda las diferentes protecciones a esta red de distribución en medio voltaje : sobre corriente (50/51), direccional (67), cold load pick-up, sobrecarga térmica (49), falla a tierra (50N/51N), falla a tierra direccional (67N), falla a tierra intermitente (67N-IEF) , Bajo voltaje (27), sobre voltaje (59), voltaje de neutro (59N), baja corriente de fase (37), desbalance (46), secuencia de fase (47), potencia direccional (32), corrientes de Inrush (68F2), frecuencia (81H/81L), sincronismo (25), recloser (79), falla de breaker (50BF), tasa de cambio de frecuencia (81R), Excessive stars(48), Successive stars(66) (Schneider Electric., 2017).

2.3.12.2 Comunicación

Este equipo VAMP es un experto en comunicación con una amplia experiencia en la interacción con diferentes integradores de sistemas y RTUs de proveedores de SCADA, PLCs, puertas de enlace, etc.

El protocolo de comunicación IEC 61850 se puede usar para leer, escribe datos estáticos o para recibir eventos enviados espontáneamente desde el relevo además, el interfaz permite la comunicación igual entre los relés, llamada comunicación GOOSE. La interfaz IEC 61850 está configurada de forma familiar, con un software VAMPSET que se adapta a los requerimientos de este sistema.

2.3.13 Sistema de comunicaciones de las cámaras de seccionamiento

2.3.13.1 Sistema Scada (supervisión, control y adquisición de datos)

El importante tener definido un sistema de comunicación para el control del sistema de distribución en medio voltaje de la ciudad de YACHAY, se lo realiza mediante un sistema SCADA ya que este es un software de monitoreo y control de que proporciona herramientas vitales para mejorar la confiabilidad del sistema de energía y la eficiencia operacional.

Este sistema SCADA de alto rendimiento, nos sirve para reducir interrupciones mientras aumenta la eficiencia del sistema de potencia, este sistema SCADA debe brindarnos flexibilidad para que pueda crecer y adaptarse a múltiples cambiantes y requerimientos del sistema de distribución eléctrica, así los componentes pueden interactuar a la perfección, este sistema proporciona toda la visibilidad y control del sistema de potencia para mejorar la eficiencia energética, la productividad del proceso y la fiabilidad del sistema de potencia.

2.3.13.2 Elementos que conforman la Unidad terminal remota (RTU)

Se debe tener presente que en todo sistema de comunicación del sistema de distribución en medio voltaje tanto para la operación como para la protección del mismo, se debe tener un Sistema de Supervisión y Monitoreo basado en PC y un Panel de RTU para la cabecera de comunicaciones del sistema eléctrico de distribución subterráneo para la ciudad del conocimiento Yachay.

El suministro consiste en un panel auto soportado de 12 unidades, que contiene una RTU tipo SAITEL DR redundante y un PC Desktop con el aplicativo para la supervisión de los activos eléctricos que conformar el sistema de potencia, como se muestra en el diagrama a continuación, en la figura 2.33 se indica un diagrama esquemático de este sistema RTU.

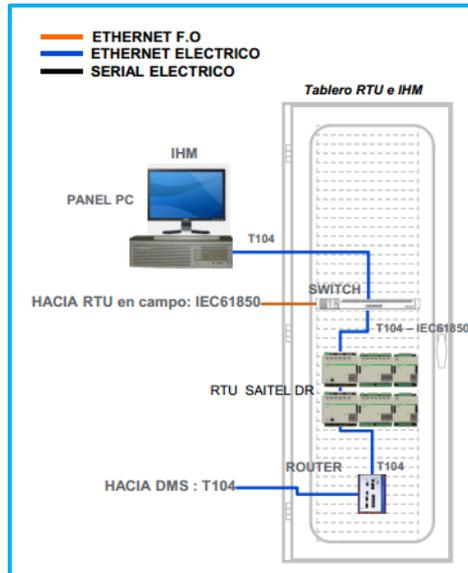


Fig. 2.44 Diagrama Esquemático.
Fuente: Schneider Electric SCADA y RTU ciudad Yachay.

2.4 Presentación de pruebas

2.4.1 Ejemplo:

A manera de ejemplo se procederá a realizar la descripción del cálculo de la tensión de halado del alimentador B. desde la subestación Yachay, hasta la primera cámara de seccionamiento (Cámara B1).

Para lo cual se tendrá los datos importantes para realizar los cálculos respectivos:

Datos:

- **Peso del cable (W):** 1.709 [Lb./ft].
- **Diámetro del ducto (D):** 6.065 [in].
- **Diámetro del conductor (d):** 1.73 [in],
- **Coefficiente de fricción (f):** 0.35

Además se tiene un dato adicional referente a la máxima presión lateral que puede soportar el cable. Como se puede observar en la tabla 2.3, para 2 o más cables se tienen una máxima presión lateral de 1000 lb/ft de radio.

2.4.1.1 Factor de Corrección del peso:

Para determinar y justificar este dato se procede a realizar este cálculo, como las fases de los alimentadores presentan una configuración triangular se utilizará la ecuación (2.8).

$$c = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{d}{D-d}\right)^2}} \quad (2.8).$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{1.73}{6.065 - 1.73}\right)^2}}$$

$$c \approx 1.1$$

2.4.1.2 Máxima tensión que soporta el conductor:

Para este caso al tener varios hilos de aluminio para formar la fase del cable, se realizará el cálculo con la ecuación (2.1).

$$Tm = 0.006 \times n \times CM \quad (2.1)$$

$$Tm = 0.006 \times 3 \times 500000$$

$$Tm = 9000 \text{ [lb]}$$

Por lo tanto para los cálculos de la tensión de halado de cable, máximo se puede llegar a 9000 [lb], valor que cumpliría con la recomendación de que en ningún caso al tener 2 o más cables se puede exceder las 10000 [lb.]. Obviamente se deberá llegar a una tensión menor a las 9000 [lb] con el fin de no exigir al cable al límite.

2.4.1.3 Calculo de halado del cable

Para la determinación de la tensión de halado del conductores se parte desde el trayecto del interior de la subestación Yachay, hasta el punto D que sería la salida de la misma como se indica en la figura 2.34.

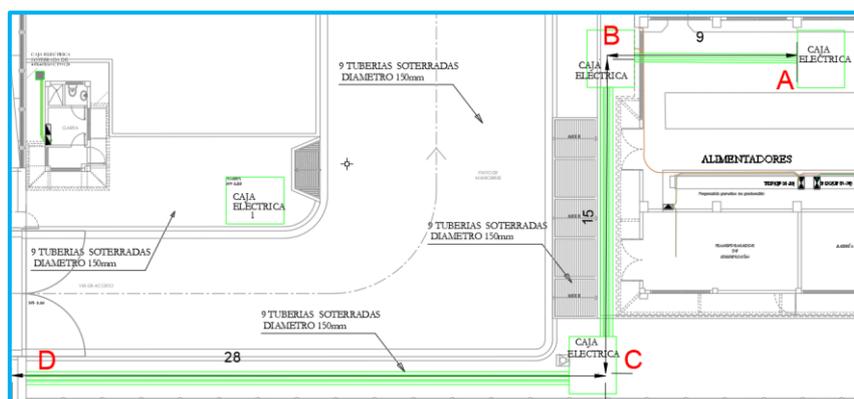


Fig. 2.45 Recorrido del alimentador B desde el interior de la subestación Yachay.
Fuente: Autor.

Una vez conocido las distancias se procede a realizar los cálculos pertinentes, partiendo desde el primer tramo que sería desde el punto A hacia el punto B, con una distancia de 9 metros, al tener la distancia dada en metros, se transforma a una unidad de medida en pies para adaptarse a la ecuación (2.9).

$$T = L * N * W * f * c \quad (2.9)$$

$$T_A = 29.5 * 3 * 1.709 * 0.35 * 1.1$$

$$T_A = 58.22 \text{ [lb]} \text{ en definición de tensión mecánica.}$$

Este resultado es hasta llegar al punto B en donde luego se presenta una curva que es de 90°, como se indica en la figura 2.35.

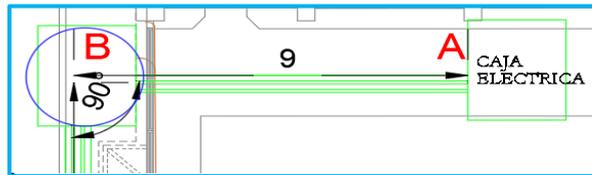


Fig. 2.46 Curvatura del punto B.
Fuente: Autor

Por lo tanto se utilizará la ecuación (2.10) para el siguiente cálculo respectivo y conocer la tensión de halado al salir de la curva.

$$T = T_{in} * e^{c*f*a} \quad (2.10)$$

$$T_{A-B} = 58.22 * e^{1.1*0.35*\pi/2}$$

$$T_{1-0} = 96.15 \text{ [lb]}.$$

Se procede con el cálculo de tensión desde el punto B hasta el punto C que se encuentra a una distancia de 15 m. como se indica en la figura 2.36.

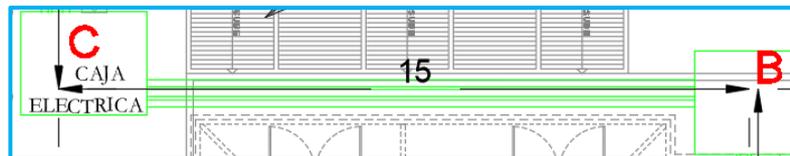


Fig. 2.47 Distancia del punto B al C.
Fuente: Autor

Para esta tensión se calcula con la formula (2.9) y se suma la tensión de salida del punto B (Tensión al salir de la curva).

$$T_{B-C} = T_{1-0} + L * N * W * f * c \quad (2.9)$$

$$T_{B-C} = 96.15 + 49 * 3 * 1.709 * 0.35 * 1.1$$

$$T_{B-C} = 192 \text{ [lb]}$$

Este resultado es hasta llegar al punto C en donde luego se presenta una curva que es de 90°, como se indica en la figura 2.37.

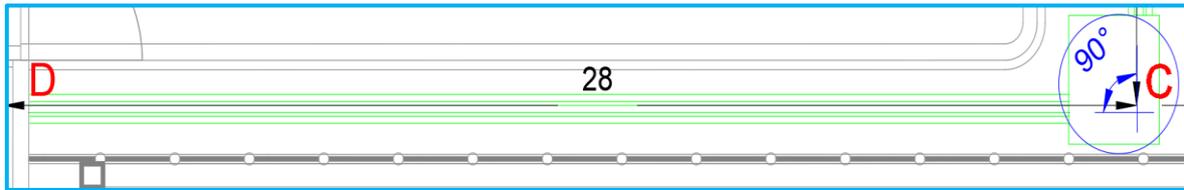


Fig. 2.48 Curvatura del punto C.
Fuente: Autor

Por lo tanto se utilizará la ecuación (2.10) para el siguiente cálculo respectivo y conocer la tensión de halado al salir de la curva.

$$T = T_{in} * e^{c*f*a} \quad (2.10)$$

$$T_{B-C} = 192 * e^{1.1*0.35*\pi/2}$$

$$T_{B-C} = 317 \text{ [lb].}$$

Finalmente se procede con el cálculo de tensión desde la salida del punto C hasta el punto D que se encuentra a una distancia de 28 m. como se indica en la figura 2.38.



Fig. 2.49 Distancia del punto C al D.
Fuente: Autor

Para esta tensión se calcula con la formula (2.9) y se suma la tensión de salida del punto B, más la tensión de la salida del punto C (Tensión al salir de la curva), para tener la tensión total de este tramo.

$$T = L * N * W * f * c \quad (2.9)$$

$$T_{C-D} = T_B + L * N * W * f * c$$

$$T_{C-D} = 317 + 91.8 + * 1.709 * 0.35 * 1.1$$

$$T_{C-D} = 498 \text{ [lb]}. ===== 500 \text{ Lb.}$$

Trayecto desde la salida de la subestación Yachay punto D, hasta la cámara de seccionamiento B-1.

Posteriormente en la Figura 2.39 se puede observar el trayecto del alimentador B desde la salida Subestación hasta la cámara de seccionamiento B-1. Con lo cual se procederá a realizar los respectivos cálculos.

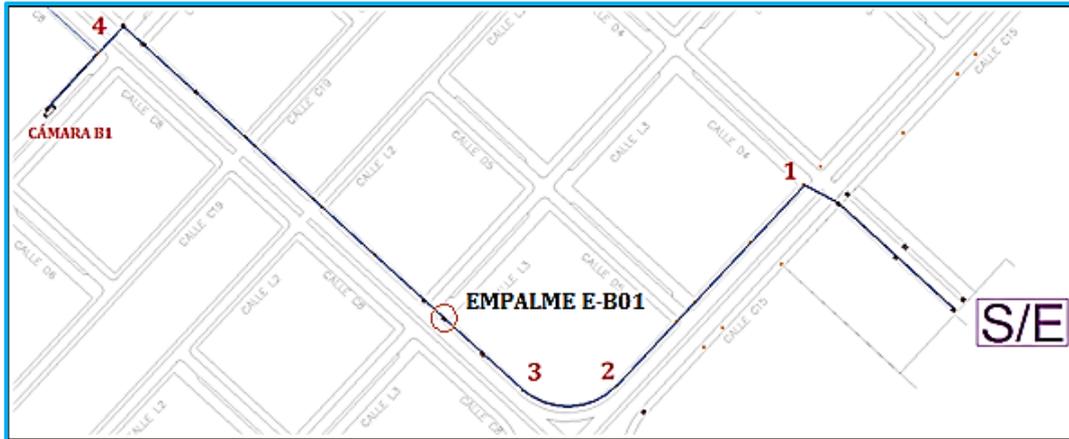


Fig. 2.50 Recorrido del alimentador B desde la subestación Yachay hasta la cámara de seccionamiento B - 1.
Fuente: Autor.

A la salida de la Subestación se tiene una recta de 124 [m] hasta el (punto 1), como se indica en la figura 2.40, al tener la distancia dada en metros, se transforma a una unidad de medida en pies para adaptarse a la ecuación (2.9).

Como ya se tiene un tramo desde el interior de la subestación hasta la primera caja de revisión se asume una tensión inicial de 500 [lb].



Fig. 2.51 Recorrido del alimentador B desde la subestación Yachay hasta el punto 1.
Fuente: Autor

$$T_{1-i} = T_i + L * N * W * f * c \quad (2.9)$$

$$T_{1-i} = 500 + 406.824 * 3 * 1.709 * 0.35 * 1.1$$

$$T_{1-i} = 1303.03 \text{ [lb]} \text{ en definición de tensión mecánica.}$$

Este resultado es hasta llegar al punto 1 en donde luego se presenta una curva que es de 90°, como se indica en la figura 2.41.

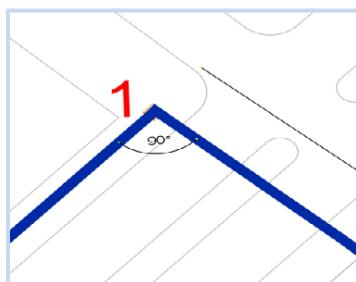


Fig. 2.52 Curvatura del punto 1.
Fuente: Autor

Por lo tanto se utilizará la ecuación (2.10) para el siguiente cálculo respectivo:

$$T_{1-0} = T_{in} * e^{c*f*a} \quad (2.10)$$

$$T_{1-0} = 1303.03 * e^{1.1*0.35*\pi/2}$$

$$T_{1-0} = 2385.59 \text{ [lb]}.$$

Con este valor de tensión se calcula el mínimo radio de curvatura dependiendo de la máxima presión lateral que soporta el cable, utilizando la ecuación (2.6):

$$P = \frac{cT_{1-0}}{2r} \quad (2.6)$$

$$r = \frac{cT_0}{2P}$$

$$r = \frac{1.1 * 2385.59}{2(1000)}$$

$$r = 1.31 \text{ [ft]}.$$

De acuerdo a la Tabla de la figura 2.10 se requiere un radio Standard 6"; con este dato se procede a comprobar si es correcto utilizar la ecuación (2.11):

$$T_{in} > 10*w*r \quad (2.11)$$

$$1303.03 > 10*3*1.709*2.25$$

$$1303.03 > 115.36$$

Al cumplirse la desigualdad, la ecuación corta (2.10) es correctamente utilizada en este caso. A continuación se procede con el cálculo de tensión desde el punto 1 hasta el punto 2 a una distancia de 175 m. como se indica en la figura 2.42.

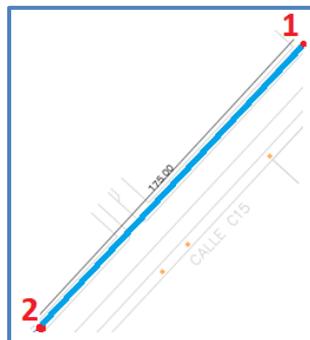


Fig. 2.53 Distancia entre el punto 1 al punto 2.
Fuente: Autor

Para esta tensión se calcula con la fórmula (2.9) y se suma la tensión de salida del punto 1 (Tensión al salir de la curva).

$$T_{2-i} = T_{1-o} + L * N * W * f * c \quad (2.9)$$

$$T_{2-i} = 2385.59 + 574.15 * 3 * 1.709 * 0.35 * 1.1$$

$$T_{2-i} = 3518.90 [lb]$$

Como se observa en la figura 2.43 en este punto se tiene una curva con un radio muy amplio, lo cual hace que prácticamente se tenga una recta. Por lo tanto para este tipo de curvas se considerará un ángulo referencial de curvatura de 20° (ángulo de quiebre en caso de ser recta entre la caja de inicio de curva y la caja de medio) y la distancia entre cajas final de la curva.

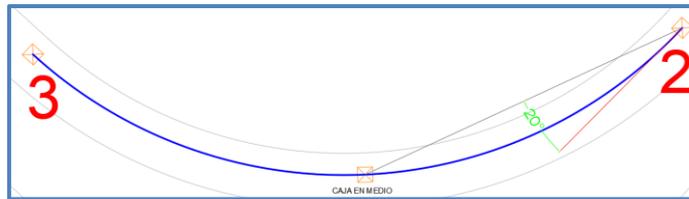


Fig. 2.54 Curva en el recorrido del Alimentador B.
Fuente: Autor.

Por lo tanto se utilizará la ecuación (2.10) para el siguiente cálculo respectivo

$$T_{2-0} = T_{in} * e^{c*f*a} \quad (2.10)$$

$$T_{2-0} = 3518.9 * e^{1.1*0.35*\pi/9}$$

$$T_{2-0} = 4025.06 [lb]$$

Con este valor de tensión se calcula el mínimo radio de curvatura dependiendo de la máxima presión lateral que soporta el cable, utilizando la ecuación (2.6):

$$P = \frac{cT_{1-0}}{2r} \quad (2.6)$$

$$r = \frac{1.1 * 4025.06}{2(1000)}$$

$$r = 2.21 [ft]$$

Se tiene aún el mismo radio standard para 6" por lo tanto se puede utilizar la ecuación (2.9).

$$T_{2'-i} = T_{2-o} + L * N * W * f * c \quad (2.9)$$

$$T_{2'-i} = 4025.06 + 108.3 * 3 * 1.709 * 0.35 * 1.1$$

$$T_{2'-i} = 4238.83 [lb]$$

Por lo tanto se utilizará la ecuación (2.10) para el siguiente cálculo respectivo:

$$T_{2'-0} = T_{in} * e^{c*f*a} \quad (2.10)$$

$$T_{2'-0} = 4238.83 * e^{1.1*0.35*\pi/9}$$

$$T_{2'-0} = 4848.54 [lb]$$

Con este valor de tensión se calcula el mínimo radio de curvatura dependiendo de la máxima presión lateral que soporta el cable, utilizando la ecuación (2.6):

$$P = \frac{cT_{1-0}}{2r} \quad (2.6)$$

$$r = \frac{1.1 * 4848.54}{2(1000)}$$

$$r = 2.67 [ft]$$

Se tiene aún el mismo radio standard para 6" por lo tanto se puede utilizar la ecuación (2.9).

Con la cual se calcula la tensión desde el punto 2 hasta el punto 3 como se indica en la figura 2.44.

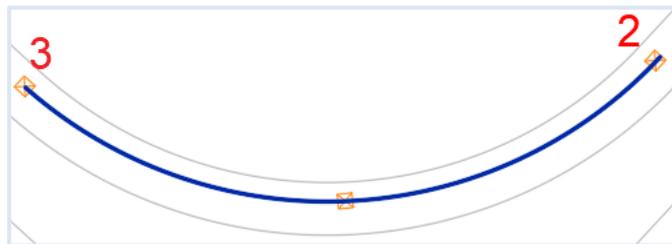


Fig. 2.55 Curva para el cálculo desde el punto 2 al punto 3.
Fuente: Autor.

$$T_3 = T_{2'-0} + L * N * W * f * c \quad (2.9)$$

$$T_3 = 4848.54 + 108.3 * 3 * 1.709 * 0.35 * 1.1$$

$$T_3 = 5062.31 [lb]$$

Se calcula la tensión hasta la entrada a la curva del punto 4, como se indica en la figura 2.45 el recorrido del mismo.



Fig. 2.56 Recorrido desde el punto 3 al punto 4.
Fuente: Autor.

$$T_{4-i} = T_3 + L * N * W * f * c \quad (2.9)$$

$$T_{4-i} = 5062.31 + 1122.05 * 3 * 1.709 * 0.35 * 1.1$$

$$T_{4-i} = 7277.12 \text{ [lb]}$$

Se calcula la tensión a la salida de la curva del punto 4, como se indica en la figura 2.46 se tiene un ángulo de 90°.

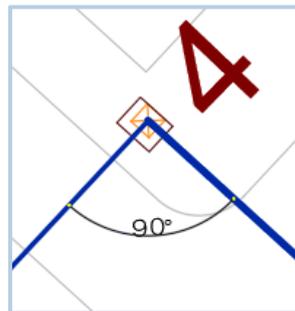


Fig. 2.57 Curva en el recorrido del Alimentador B.
Fuente: Autor.

Por lo tanto se emplea la ecuación (2.10).

$$T_{4-o} = T_{4-i} * e^{c*f*a} \quad (2.10)$$

$$T_{4-o} = 7277.12 * e^{1.1*0.35*\pi/2}$$

$$T_{4-o} = 13323 \text{ [lb]}$$

Como se puede ver, la tensión de salida en el punto 4 excede el máximo permitido por lo tanto en este punto se colocaría un empalme. En este caso se determina la ubicación del empalme dependiendo del espacio de la vereda como esta en el plano de distribución territorial, el cual se adapta con las medidas de las cajas de empalmes y al estar tan cerca de una cámara de seccionamiento, se sugiere colocar el empalme después del punto 3, para disminuir la tensión de halado del primer tramo, como se indica en la figura 2.47.

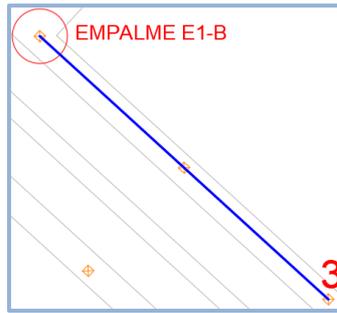


Fig. 2.58 Ubicación del empalme.
Fuente: Autor.

A continuación se procede a calcular la tensión desde el Empalme E-B01 hasta la cámara de seccionamiento B-1. Como se tiene un empalme, desde este punto ya se sale con una tensión igual a 0.

Se calcula la tensión hasta la entrada a la curva del punto 4:

$$T_{4-i} = L * N * W * f * c \quad (2.9)$$

$$T_{4-i} = 902.23 * 3 * 1.709 * 0.35 * 1.1$$

$$T_{4-i} = 1780.91 [lb]$$

Se calcula la tensión a la salida de la curva del punto 4:

$$T_{4-o} = T_{4-i} * e^{c*f*a} \quad (2.10)$$

$$T_{4-o} = 1780.91 * e^{1.1*0.35*\pi/2}$$

$$T_{4-o} = 3260.50 [lb]$$

$$P = \frac{cT_{1-0}}{2r} \quad (2.6)$$

$$r = \frac{1.1 * 3260.50}{2(1000)}$$

$$r = 1.79 [ft]$$

Al tener aún un radio Standard de 6" (10wr=115 lb) entonces se puede utilizar la ecuación (2.10).

Se calcula la tensión hasta la cámara de seccionamiento B-1:

$$T_{B1} = T_{4-o} + L * N * W * f * c \quad (2.9)$$

$$T_{B1} = 3260.50 + 236.2 * 3 * 1.709 * 0.35 * 1.1$$

$$T_{B1} = 3726.73 \text{ [lb.]}$$

Como se puede observar en los cálculos realizados, en las curvas es donde más se incrementa la tensión y mientras más elevada sea la tensión en entrada a la curva, esta será mucho mayor a la salida. Por lo tanto se realizará el cálculo de tensión pero en dirección opuesta (Desde la cámara de seccionamiento B-1 hasta el Empalme E-B01), como se indica en la figura 2.48, igualmente asumiendo que se sale con tensión 0 desde la cámara.

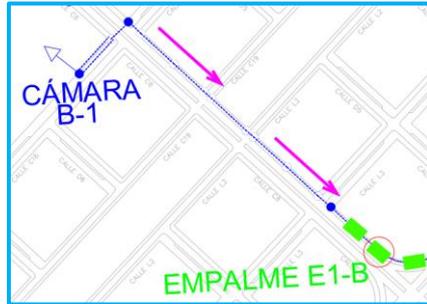


Fig. 2. 59 Dirección para el cálculo de la tensión de halado.
Fuente: Autor.

Se calcula la tensión desde la cámara al empalme:

$$T_{4-i} = L * N * W * f * c \quad (2.9)$$

$$T_{4-i} = 236.22 * 3 * 1.709 * 0.35 * 1.1$$

$$T_{4-i} = 466.27 \text{ [lb]}$$

Se calcula la tensión a la salida de la curva del punto 4 como se indica en la figura 2.49:

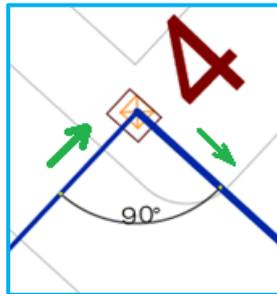


Fig. 2.60 Curva del punto 4.
Fuente: Autor.

$$T_{4-o} = T_{4-i} * e^{c*f*a} \quad (2.10)$$

$$T_{4-o} = 466.27 * e^{1.1*0.35*\pi/2}$$

$$T_{4-o} = 853.65 \text{ [lb]}$$

$$r = \frac{1.1 * 853.65}{2(1000)}$$

$$r = 0.47 \text{ [ft]}$$

Al tener aún un radio Standard de 6" (10wr=115 lb) entonces se puede utilizar la ecuación (2.10).

$$T_{E-B01} = L * N * W * f * c \quad (2.9)$$

$$T_{E-B01} = 853.65 + 902.23 * 3 * 1.709 * 0.35 * 1.1$$

$$T_{E-B01} = 2634.56 [lb]$$

La tensión de halado desde el empalme E-B01 hasta la cámara de seccionamiento B-1 es de casi 4000 [lb] mientras que halar desde la cámara B-1 hasta el empalme E-B01 es menor a las 3000 [lb], por lo tanto la dirección correcta para el halado del cable en este tramo es desde la cámara hacia el empalme.

Un análisis similar al de este tramo (Desde la Subestación hasta la cámara B-1) se ha realizado en el resto del alimentador y en los alimentadores A, C y D. Anexo a esta investigación se presenta todos los resultados en el capítulo 3 que corresponde a los mismos donde además se detalla la dirección en la que se debe halar el cable.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

3.1 Alimentadores y Empalmes

En el proceso de instalación del conductor se debe realizar todos los cálculos pertinentes para los diferentes alimentadores basándose a las fórmulas que se encuentran en la sección 2.3.5 los cuales se trazan por los diferentes distritos de la ciudad de Yachay, esto nos optimiza la cantidad de conductor que será necesario para la implementación siendo este un método que garantice el uso del mismo en todo este sistema en medio voltaje y a su vez la cantidad de empalmes que se van a ser necesarios, en la tabla 3.1 se detalla los resultados obtenidos en este proceso.

Cabe recordar que en este proceso es importante tener un factor de incremento en el resultado total como se indica a continuación, ya que en el trabajo de campo o de instalación del mismo pueden presentarse diferentes anomalías en los terminales del conductor tanto como en el transporte o deterioro de los sellos de seguridad, por lo tanto se podría corregir sin ningún problema y a la vez sin temor al desperdicio del mismo.

TABLA 3.1 Cantidad de conductor para la ciudad de Yachay.

ALIMENTADOR A			
TRAMO		LONGITUD [m]	LONGITUD + INCREMENTO (8%)
Desde	Hasta		
S/E Yachay	Empalme E1-A	921	995
Empalme E1-A	Cámara A-1	525	567
Cámara A-1	Empalme E2-A	515	556
Empalme E2-A	Cámara A-2	345	373

ALIMENTADOR B			
TRAMO		LONGITUD [m]	LONGITUD + INCREMENTO (8%)
Desde	Hasta		
S/E Yachay	Empalme E1-B	380	410
Empalme E1-B	Cámara B-1	415	448
Cámara B-1	Empalme E2-B	966	1043
Empalme E2-B	Empalme E3-B	175	189
Empalme E3-B	Cámara B-2	480	518
Cámara B-2	Empalme E4-B	435	470
Empalme E4-B	Empalme E5-B	366	395
Empalme E5-B	Cámara B-3	480	518
Cámara B-3	Empalme E6-B	337	364
Empalme E6-B	Cámara A-2	676	730

ALIMENTADOR C			
TRAMO		LONGITUD [m]	LONGITUD + INCREMENTO (8%)
Desde	Hasta		
S/E Yachay	Empalme E1-C	437	472
Empalme E1-C	Empalme E2-C	730	788
Empalme E2-C	Empalme E3-C	865	934
Empalme E3-C	Empalme E4-C	746	806
Empalme E4-C	Cámara C-1	441	476

ALIMENTADOR D			
TRAMO		LONGITUD [m]	LONGITUD + INCREMENTO (8%)
Desde	Hasta		
S/E Yachay	Empalme E1-D	395	427
Empalme E1-D	Cámara D-1	365	394

Fuente: Autor.

3.2 Recorrido de los alimentadores

Una vez conocido el plano del área en la cual se implementara este sistema en medio voltaje que corresponde la ciudad de Yachay, se debe realizar el recorrido del alimentador con el cual se lleva los cálculos respectivos como se indican en la sección 3.1, está representado con el color rojo y de color azul la ubicación de los empalmes de este alimentador.

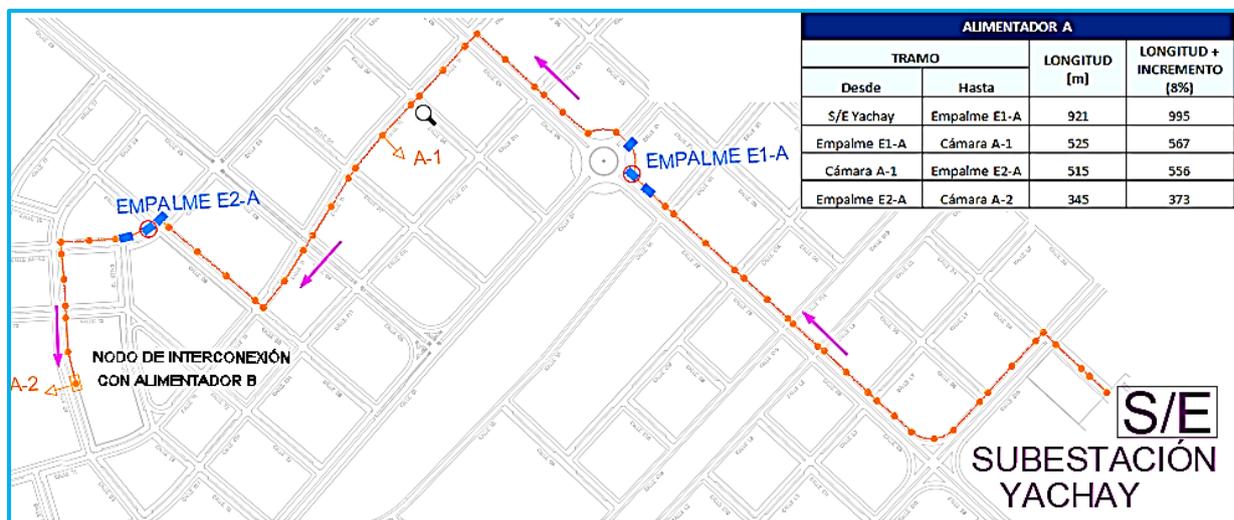


Fig. 3.1 Recorrido del alimentador A.
Fuente: Autor.

En la figura 3.2 se indica el recorrido del alimentador B con la respectiva cantidad de conductor que será requerido, está representado con el color azul y de color verde la ubicación de los empalmes de este alimentador.

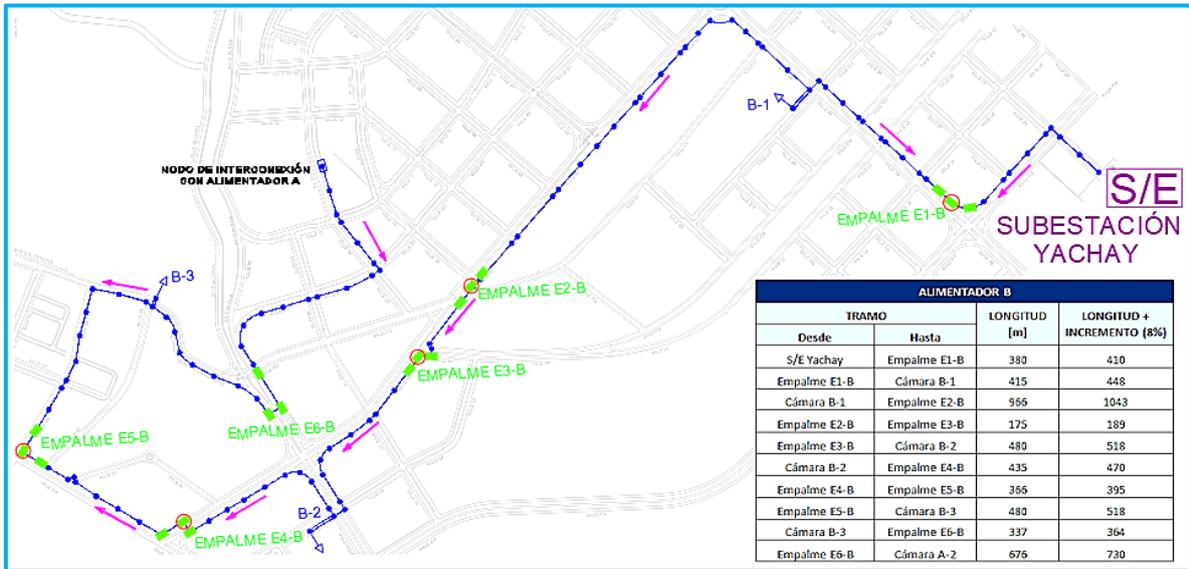


Fig. 3.2 Recorrido del alimentador B.
Fuente: Autor.

En la figura 3.3 se indica el recorrido del alimentador **C** con la respectiva cantidad de conductor que será requerido, está representado con el color verde y de color amarillo la ubicación de los empalmes de este alimentador.

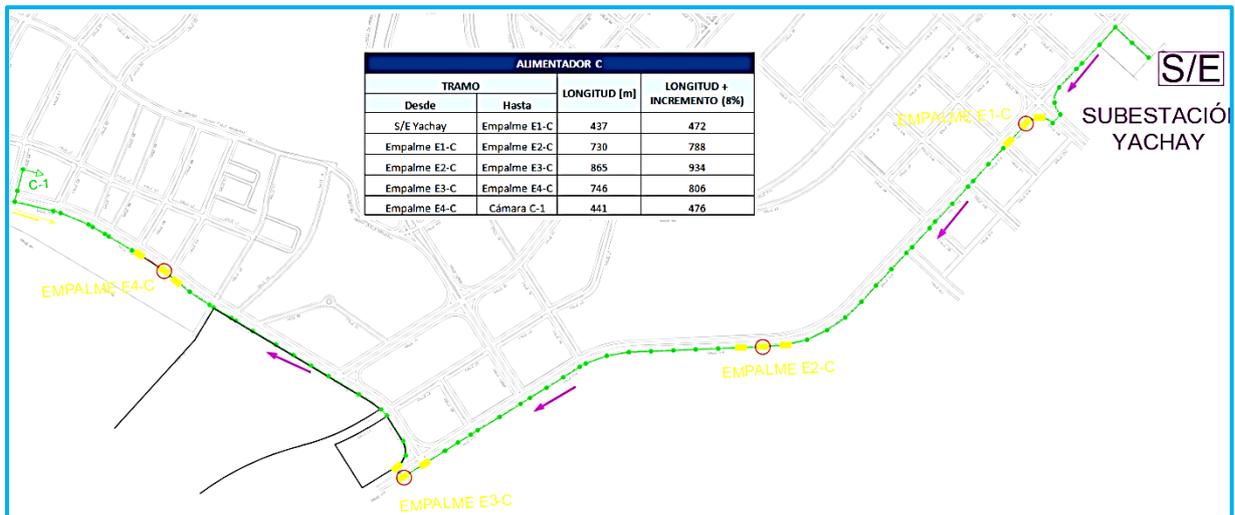


Fig. 3.3 Recorrido del alimentador C.
Fuente: Autor.

En la figura 3.4 se indica el recorrido del alimentador **D** con la respectiva cantidad de conductor que será requerido, está representado con el color azul y con color verde la ubicación de los empalmes de este recorrido.

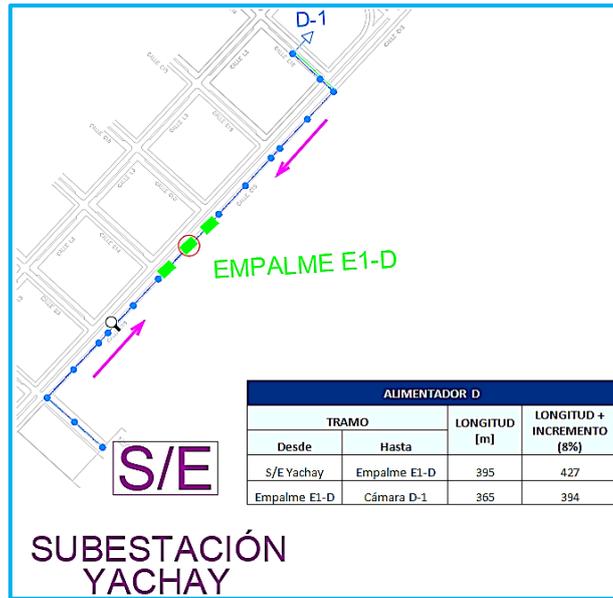


Fig. 3.4 Recorrido del alimentador D.
Fuente: Autor.

A continuación se detalla la cantidad total de todo el recorrido de los alimentadores y a su vez la cantidad necesaria de los empalmes y cámaras de seccionamiento.

En la tabla 3.2 se encuentra la cantidad del conductor, empalmes y cámaras de seccionamiento del alimentador **A**

TABLA 3.2 Cantidad total del conductor alimentador A.

ALIMENTADOR A			
	LONGITUD [m]	LONGITUD + INCREMENTO (8%)	TOTAL
CONDUCTOR	2306	2491	2491
EMPALMES			2
CÁMARAS DE SECCIONAMIENTO			2

Fuente: Autor.

En la tabla 3.3 se encuentra la cantidad del conductor, empalmes y cámaras de seccionamiento del alimentador **B**.

TABLA 3.3 Cantidad total del conductor alimentador B.

ALIMENTADOR A			
	LONGITUD [m]	LONGITUD + INCREMENTO (8%)	TOTAL
CONDUCTOR	4710	5085	5085
EMPALMES			6
CÁMARAS DE SECCIONAMIENTO			4

Fuente: Autor.

En la tabla 3.4 se encuentra la cantidad del conductor, empalmes y cámaras de seccionamiento del alimentador **C**.

TABLA 3.4 Cantidad total del conductor alimentador C

ALIMENTADOR C			
	LONGITUD [m]	LONGITUD + INCREMENTO (8%)	TOTAL
CONDUCTOR	3219	3476	3476
EMPALMES			4
CÁMARAS DE SECCIONAMIENTO			1

Fuente: Autor.

En la tabla 3.5 se encuentra la cantidad del conductor, empalmes y cámaras de seccionamiento del alimentador **D**.

TABLA 3.5 Cantidad total del conductor alimentador D.

ALIMENTADOR D			
	LONGITUD [m]	LONGITUD + INCREMENTO (8%)	TOTAL
CONDUCTOR	760	821	821
EMPALMES			1
CÁMARAS DE SECCIONAMIENTO			1

Fuente: Autor.

En la tabla 3.6 se detalla la cantidad total requerido para la implementación de este sistema en medio voltaje tanto como el conductor, los empalmes y cámaras de seccionamiento

TABLA 3.6 Cantidad total del conductor, empalmes y cámaras de seccionamiento.

ELEMENTOS	TOTAL
CONDUCTOR CALIBRE 500 M.C.M.	11873 m.
EMPALMES	13
CÁMARAS DE SECCIONAMIENTO	8

Fuente: Autor.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Al desarrollar la investigación se determina una metodología adecuada para el diseño de un sistema soterrado en medio voltaje con cámaras de seccionamiento tipo Iceberg, en donde se optimizan los diferentes recursos así como materiales y tiempo empleado para la implementación de este nuevo sistema acatando las normas vigentes de construcción.
- Con el desarrollo de este tema se conoció las características técnicas y funcionales de todos los equipos y materiales que conforman un sistema en medio voltaje, con lo cual se puede definir una correcta manipulación y a futuro poder tener un mantenimiento idóneo sin afectar las condiciones operaciones así alargar la vida útil de los mismos.
- Uno de los problemas que se pueden presentar en el soterramiento de redes eléctricas es la tensión mecánica del conductor, el cual puede llegar a niveles que afecten física y funcionalmente el desempeño del mismo. Estos niveles de tensión mecánica aumentan en las curvas, por lo que es recomendable que el trayecto de los alimentadores tenga el menor número de curvas posibles. Esto llevó a descartar algunas alternativas de ubicación de cámaras de seccionamiento y trayecto de los alimentadores.
- El conductor especificado no solamente es el mejor en cuanto a la cargabilidad, sino que también ayuda a tener bajos niveles de caídas de voltaje, que sumado a las condiciones de la subestación que prácticamente asegura el 1 en p.u en demanda máxima, brindan una mejor calidad de energía aún a los clientes más alejados. En caso de tener problemas con el nivel de voltaje se debe considerar que se puede recurrir a manipular el “tap” de los transformadores de distribución para solucionar este problema, antes de conectar reguladores, banco de capacitores o tomar otras medidas más costosas.

RECOMENDACIONES

Para la instalación correcta de los conductores se tomaran en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Antes de iniciar el proceso de apertura o excavación de zanjas, se debe realizar un estudio previo del terreno con objeto de conocer su estabilidad y posibles construcciones existentes como por ejemplo: obras de alcantarillado o redes existentes.
- Para el diseño del recorrido de los alimentadores es importante tener el área en la cual se va a realizar la construcción totalmente definida para no tener variaciones en el recorrido de la troncal principal y sus respectivas derivaciones.
- Es importante tener un manejo adecuado del conductor, ya que esto deteriora las capas de aislamiento del conductor dando como resultado el deterioro del mismo y posibles fallas a futuro.
- En el proceso de instalación del cable se deben acatar las tensiones máximas de halado del conductor, con un adecuado equipo de tracción el cual debe colocarse en la posición adecuada.
- Se debe utilizar lubricación en los conductores para el proceso de halado del cable que van a ser instalado en los ductos, el cual reduce el coeficiente de fricción del conductor.
- No se debe dejar que el cable del carrete se suelte y forme bucles, lo que da como resultado el cable que se retira del carrete. Si se retícula, cualquier flojedad en el carrete resultará en que el cable cerca del tambor sea forzado entre el cable anterior, también conocido como z-ing; produciendo daños internos al conductor.
- Para tener una mejor manipulación en los pozos de derivación del conductor se sugiere utilizar poleas que deben ser de tamaño adecuado para cambiar de dirección el conductor dependiendo como sea el trazo del recorrido de los alimentadores.

Para la instalación correcta de las cámaras de seccionamiento se tomarán en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Se requiere que el personal de trabajo asegure la calidad del asentamiento del suelo. Éste deberá soportar una presión superior a 0,1 MPA con un asentamiento diferencial inferior a 1 cm sobre la longitud de la obra.
- La cámara de seccionamiento debe reposar sobre una arena de 10 cm de espesor aproximadamente correctamente nivelada, sobre una base estabilizada de registro exenta de puntos duros.
- El suelo debe estar estabilizado y nivelado así como la grúa móvil también estará convenientemente nivelada y estabilizada.
- Con el fin de evitar posibles desplazamientos del terreno dentro del foso, es necesario proceder a su relleno con tierra, en cuanto sea posible, hasta la cota de entrada/salida de cables.
- Como requisito para la instalación, la resistencia del terreno de apoyo de la cámara de transformación debe ser superior a 1 kg/cm².
- En la base del foso, se dispondrá de una placa de hormigón armado de 200 mm de espesor mínimo, sobre la que se distribuirá homogéneamente a regla, una capa de arena de 30 a 50 mm de espesor.
- En la placa de hormigón, se dejarán salientes para 4 extremos de la malla a tierra, para la conexión al sistema de puesta a tierra.
- Se debe considerar el espacio adecuado para la instalación de estas cámaras que ayude a la maniobrabilidad, el espacio mínimo libre de obstáculos dependiendo del camión o brazo grúa sería entre 11 y 14 metros.
- Evitar la acumulación del material excavado y equipos junto al borde de la excavación, tomándose las precauciones que impidan el derrumbamiento de las paredes y la caída al fondo de dichos materiales.
- Es recomendable tener una red de evacuación de aguas para ser instalada con la salida de las aguas residuales que contiene las cámaras de seccionamiento.

REFERENCIAS

- 3M . (2007). Empalme contractil en Frío QS III. *Instructivo de instalación* , 16.
- ARCONEL. (2017). Regulación de la Agencia de Regulación y control de Electricidad ARCONEL . *Resolución Nro. Arconel 074/17*, 42.
- Calpeda . (2016). GQR 60 Hz. *Bomba sumergible para achiques*, 5.
- Castaño, S. R. (2004). *Redes de Distribución de Energía* (Tercera ed.). Colombia: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- CENTELSA. (2008). CABLE Y TECNOLOGÍA Boletín Técnico- Abril 2008. *CABLE Y TECNOLOGÍA*, 1-36.
- Chasiloa Chiluisa Diego Xavier, O. P. (2013). *Alternativas de solución para el crecimiento de la demanda proyectada hacia el año 2022 en la red subterránea de distribución del casco colonial de la ciudad de Ambato de la empresa eléctrica Amabto Regional Centro Norte S.A* . Latacunga .
- DESARROLLO DE SISTEMAS DE CONTROL DESICO. (2016). SAI-DC-1F. *Sistema de alimentación interrumpida DC. para equipamientos electrónicos de medida, protección, control y maniobra de interruptores automáticos motorizados.*, 1.
- Edelnor. (2013). Especificación Técnica Celdas de Distribución Secundaria (E - MT - 023). *ESPECIFICACIÓN TÉCNICA*, 33.
- Electrical Engineering Portal . (2007). Electrical Power System . *Network Protection y Automation Guide* , 2.
- EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE. (2018). *Adecuación de la red de distribución de Emelnorte, dimensionamiento de transformadores y método de cálculo de caídas de voltaje en redes secundarias de distribución*. . Ibarra .
- Empresa Electrica Regional Norte S.A. (2009 - 2011). *Proyecto Normas de Redes Preensambladas de BT*. Ibarra: Emelnorte.
- EPOX RESINA . (2016). EPOX ENVASE. indd. *RESINA EPÓXICA TIPO Y Especificaciones Técnicas*, 4.
- H., V. V. (2015). *Análisis de los parámetros eléctricos de la red subterránea de distribución a 13.8 kVA, lo que permitiera encontrar puntos críticos del alimentador doce de Noviembre del canton Ambato año 2015* . Latacunga .
- J., J. (1995). *Sistema de Distribución de Energía Eléctrica* . Mexico: Sans Serif .
- Jiménez, D. P. (2018). *Análisis de las Energías Limpias para la Generación de Energía Eléctrica* . Mexico .
- Jorge Pável Ordoñez Sanclemente, L. G. (2010). *Mantenimiento De sistemas Eléctricos de Distribución* . Guayaquil.

- Jose, P. (2012). Montaje de redes eléctricas subterráneas de bajo tensión. 10.
- Línea Negocio Distribución Edelnor. (2013). *Especificación Técnica celdas de distribución secundaria (E-MT-023)*.
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2013). Sección 2 Manual de las Unidades de Construcción . *MANUAL DE CONSTRUCCIÓN ELÉCTRICA DE REDES SUBTERRÁNEAS*, 68.
- OKONITE . (2017). BENEFICIOS DEL OKOGUARD . *VENTAJAS DEL AISLAMIENTO (EPR) VS. XLPE, TR-XLPE Y OTROS EPR (EPR 2.4kV-69 kV)*, 2.
- OptiRoad Inc. . (2009). FEP (HDPE Flexible Pipe) Underground Pipe for Protecting Power, Telecom Cables . *OptiRoad- Connect Better Everywhere*, 1-21.
- Ortiz, J. (2010). SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN. En *Transmisión y Distribución* (pág. 98).
- Palenciano, S. P. (2011). *Diseño de centros de seccionamiento y transformación*. Madrid.
- Roxtec . (2015). Catálogo de productos SOLUCIONES DE SELLADO PARA PENETRACIONES DE CABLE Y TUBO. *Catálogo de productos* , 244.
- Schneider Electric . (2010). Manual Twido Suite . *Manual de introducción al uso de la herramienta de configuración, programación y depuración de controladores programables de la gama Twido.*, 131.
- Schneider Electric . (2013). Struxure Ware . *The synergy of SCADA with power monitoring.*, 8.
- Schneider Electric . (2013). VAMP 300 Series . *Modular IED design your own protection relay* , 12.
- Schneider Electric . (2016). Scada y RTU de cabecera para sistema eléctrico Ciudad de Yachay. . *Oferta técnica y comercial.*, 15.
- Schneider Electric . (2017). Prisma G enclosures . *Presentation Enclosures Prisma G W600, W 300*, 2.
- Schneider Electric. (2008). Manual de puesta en servicio explotación y mantenimiento de EHS2UF. *EHS2 Centros Subterráneo prefabricado de hormigón*, 27.
- Schneider Electric. (2012). 8 Sistemas de protección y maniobras en Media Tensión. *Celdas de protección y maniobras en Media Tensión*, 26.
- Schneider Electric. (2012). Edificios prefabricados de hormigón para C.T. Subterráneos 24/36 kV "ICEBERG". *Distribución Eléctrica en Media Tensión Catálogo 2012*, 14.
- Schneider Electric. (2015). Medium Voltage Distribution Catalogue / 2015. *FBX Gas insulated switchgear up to 24 kV.*, 1-85.
- Schneider Electric. (2017). VAMP 300F/M. *Protection version: 300F_M/en M/009 User manual*, 370.
- TE connectivity. (2008). Empalme Recto Contractil en frío (CSJA) . *Energía// Empalme contractil en frío CSJA* , 2.

THE OKONITE COMPANY . (2012). INSTALLATION PRACTICES. *INSTALLATION PRACTICES FOR CABLE RACEWAY SYSTEMS* , 60.

The OKONITE company. (2017). Cable installation . *Cable installation* , 1-62.

VIKON . (2015). Cables de Media Tensión . *Media Tensión XLPE, tipo DS, 5, 151 25, Y 35 kV* , 1-8.

Yonathan, N. (2012). *Diseño de Redes de Distribución Eléctrica de media y baja tensión para la normalización del barrio Pinoncito de campo de la cruz* . Barranquilla .

LINKONGRAFÍA:

<https://www.google.com/search?q=estructura+de+un+conductor+tipo+xlpe&client=firefox>

<https://www.google.com/search?q=empalme+de+medio+voltaje+de+resina&client=firefox>

<https://suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=6548>

https://es.wikipedia.org/wiki/Protecciones_de_sistemas_de_potencia

<https://cableselectricos.cl/articulos/guia-tecnica-radio-minimo-de-curvatura/>

<http://www.utilityindustries.com/products/products.html>

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/784/A4%20SIS>

<http://lewismfg.com/product/pulling-grips-zip-grip-z-xs/>.

<http://biogeomundo.blogspot.com/2012/03/centrales-hidroelectricas-ecologicas-o.html>.

<https://es.scribd.com/document/49980816/Cymdist-Espanol>

<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1303&edi=68>

<https://www.google.com/search?client=firefox-b-d>

<https://es.wikipedia.org/wiki/SCADA>

<https://propol.wordpress.com/tag/propiedades-aislamiento-epr/>

<http://www.cnorte.com.mx/?q=glosario-de-terminos>

https://www.taringa.net/+ciencia_educacion/monofasico-bifasico-y-trifasico_w8ak0

<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2174&srch=mantenimiento&act=3>

<https://es.slideshare.net/marcopunk/puesta-a-tierra-15009763>

GLOSARIO

ACSR: Conductor de aluminio con centro de acero galvanizado.

ARCONEEL: Agencia de regulación y control de electricidad.

AutoCAD: Es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk.

AWG: Calibre de alambre estadounidense (en inglés american wire gauge o AWG) es una referencia de clasificación de diámetros.

Bifásico: Sistema de dos tensiones desfasadas a 90 grados.

Capacidad: Potencia máxima a la cual puede suministrar energía eléctrica una unidad generadora, una central de generación o un dispositivo eléctrico.

Carga: Es la potencia requerida por los dispositivos de consumo y se mide en unidades de potencia eléctrica (Watts).

CYMDIST: Software de modelación que permite realizar varios tipos de estudios en sistemas monofásicos, bifásicos y trifásicos, balanceados o desbalanceados, con configuración radial, en anillo o mallada.

Demanda: Es la potencia a la cual se debe suministrar energía eléctrica requerida en un instante dado

Distrito: Parte en que se divide una población, un territorio u otro lugar con fines administrativos o jurídicos.

Eficiencia: Es el conjunto de acciones que permite emplear la energía de manera óptima.

Emelnorte: Empresa eléctrica regional norte.

EPDM: (etileno propileno dieno clase-M)

EPR: (etileno-propileno) Hule sintético termofijo con buenas características eléctricas, térmicas y de resistencia al efecto corona.

Equipotencial: Unión permanente de partes metálicas para formar un trayecto eléctricamente conductivo.

IEC: Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), más conocida por sus siglas en inglés: **IEC** (International Electrotechnical Commission), es una organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.

IP: El grado de protección IP hace referencia a la norma internacional CEI 60529 Degrees of Protection utilizado con mucha frecuencia en los datos técnicos de equipamiento eléctrico o electrónico, en general de uso industrial como sensores, medidores, controladores, etc.

k: Unidad de medida en el sistema internacional que es equivalente a mil 1000.

Kilovatio (kW): Es la unidad que se utiliza para medir la potencia eléctrica. Su unidad básica es el vatio (W), que equivale a un julio (J) por segundo. Un kW son 1.000 W.

kV: El símbolo de kilovoltio en el Sistema Internacional de Unidades.

MCM: Unidad de medida del calibre del conductor también conocido como Mil circular mil.

MEER: Ministerio de electricidad y energía renovable

Monofásico: Se habla de monofásico cuando se dispone únicamente de una tensión alterna. El circuito funciona con 2 hilos y la corriente que circula por ellos es siempre la misma.

MPA: Mega pascal, unidad de medida de presión esto es 10^6 , equivale al N/mm^2 .

PVC poli-cloruro de vinilo, compuesto ampliamente usado como aislamiento y cubierta.

RTU: Una Unidad de Transmisión Remota es un dispositivo electrónico que permite controlar un determinado número de entradas/salidas y enviarlas a un sistema de control.

SCADA: Acrónimo de **S**upervisory **C**ontrol **A**nd **D**ata **A**cquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un concepto que se emplea para realizar un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia.

SF6: Hexafloruro de azufre, es un gas inerte artificial que tiene excelentes propiedades de aislamiento, así como una estabilidad térmica y química excepcionalmente alta.

Tensión mecánica: Es la fuerza que se aplica a un cuerpo a lo largo de una cierta trayectoria.

Trifásico: Sistema de 3 tensiones desfasadas 120 grados que se genera con un alternador que tiene 3 devanados a 120 grados uno respecto del anterior.

UNE: Las normas UNE pueden ser documentos netamente nacionales o bien ser adopción de documentos europeos o internacionales. En el primer caso se numeran siguiendo una clasificación con la siguiente estructura general.

Voltaje: Potencia electromotriz entre dos puntos medidos en voltios.

XLP ó XLPE: Polietileno de enlaces cruzados en X, polietileno con aditivos químicos que forman enlaces permanentes en las cadenas de la estructura molecular del polietileno, esto hace que el polietileno parezca un termofijo.

ANEXOS

Anexo A

TENSIÓN DE HALADO EN EL ALIMENTADOR A

CALIBRE DE CONDUCTOR	FACTOR DE CORRECCIÓN DE PESO	PESO (lbs/ft)	Coefficiente de fricción	MÁXIMA PRESIÓN LATERAL	Kcmil	NÚMERO DE CABLES
500	1,1	1,709	0,35	1000	500	3

DIRECCIÓN DE HALADO	TRAMO	DIRECCIÓN	TENSIÓN ANTERIOR	LONGITUD [m]	ÁNGULO [°]	T. DIRECTO	T. CURVA	MÍNIMO RADIO DE CURVATURA	RADIO INTERNO [Feet]	VERIFICACIÓN DE FÓRMULA	TENSIÓN DE HALADO	
DESDE LA SUBESTACIÓN YACHAY HASTA EMPALME E-A01	Y-CE01 - Y-CE04	D	500	123	-	796,5521416	-	-	-	-	-	1296,552142
	Y-CE04	C	1296,552142	-	90	-	2373,736102	1,305554856	2,25	115,3575	CUMPLE	2373,736102
	Y-CE04 - Y-CE09	D	2373,736102	190	-	1230,446398	-	-	-	-	-	3604,1825
	Y-CE09 - Y-CE10	C	3604,1825	-	20	-	4122,605346	2,26743294	2,75	140,9925	CUMPLE	4122,605346
		D	4122,605346	33	-	213,7091112	-	-	-	-	-	4336,314457
	Y-CE10 - Y-CE11	C	4336,314457	-	20	-	4960,046602	2,728025631	2,75	140,9925	CUMPLE	4960,046602
		D	4960,046602	33	-	213,7091112	-	-	-	-	-	5173,755713
Y-CE11 - Y-CE21	D	5173,755713	325	-	2104,710943	-	-	-	-	-	7278,466656	
DESDE EL EMPALME E-A02 HASTA EL EMPALME E-A01	Y-CE32 - Y-CE30	D	0	86	-	556,9388958	-	-	-	-	-	556,9388958
	Y-CE30	C	556,9388958	-	90	-	1019,647356	0,560806046	2,25	115,3575	CUMPLE	1019,647356
	Y-CE30 - Y-CE29	D	1019,647356	21	-	135,9967071	-	-	-	-	-	1155,644063
		C	1155,644063	-	30	-	1413,746606	0,777560633	2,25	115,3575	CUMPLE	1413,746606
		D	1413,746606	21	-	135,9967071	-	-	-	-	-	1549,743313
	Y-CE29 - Y-CE28	D	1549,743313	27	-	174,8529091	-	-	-	-	-	1724,596222
	Y-CE28 - Y-CE27	C	1724,596222	-	30	-	2109,769031	1,160372967	2,25	115,3575	CUMPLE	2109,769031
D		2109,769031	22	-	142,4727408	-	-	-	-	-	2252,241772	

		C	2252,241772	-	30	-	2755,259394	1,515392667	2,25	115,3575	CUMPLE	2755,259394
		D	2755,259394	22	-	142,4727408	-	-	-	-	-	2897,732134
	Y-CE27	C	2897,732134	-	90	-	5305,186857	2,917852771	3,25	166,6275	CUMPLE	5305,186857
	Y-CE27 - Y-CE22	D	5305,186857	218	-	1411,77534	-	-	-	-	-	6716,962198
DESDE EL EMPALME E-A02 HASTA LA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO A1	Y-CE32- Y-CE35	D	0	130	-	841,8843773	-	-	-	-	-	841,8843773
	Y-CE35	C	841,8843773	-	90	-	1541,327399	0,847730069	2,25	115,3575	CUMPLE	1541,327399
	Y-CE35- Y-CE40	D	1541,327399	200	-	1295,206734	-	-	-	-	-	2836,534133
DESDE EL EMPALME E-A03 HASTA LA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO A1	Y-CE55- Y-CE54	D	0	15	-	97,14050508	-	-	-	-	-	97,14050508
	Y-CE54	C	97,14050508	-	20	-	111,1131208	0,061112216	2,25	115,3575	NO CUMPLE	111,1131208
	Y-CE54- Y-CE52	D	111,1131208	55	-	356,1818519	-	-	-	-	-	467,2949728
	Y-CE52	C	467,2949728	-	90	-	855,5266784	0,470539673	2,25	115,3575	CUMPLE	855,5266784
	Y-CE52- Y-CE47	D	855,5266784	195	-	1262,826566	-	-	-	-	-	2118,353244
	Y-CE47	C	2118,353244	-	90	-	3878,294911	2,133062201	2,25	115,3575	CUMPLE	3878,294911
	Y-CE47- Y-CE41	D	3878,294911	240	-	1554,248081	-	-	-	-	-	5432,542992
	Y-CE41	C	5432,542992	-	10	-	5810,127545	3,19557015	3,25	166,6275	CUMPLE	5810,127545
DESDE EL EMPALME E-A03 HASTA LA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO A2	Y-CE41- Y-CE40	D	5810,127545	62	-	401,5140877	-	-	-	-	-	6211,641632
	Y-CE55- Y-CE57	D	0	80	-	518,0826937	-	-	-	-	-	518,0826937
	Y-CE57	C	518,0826937	-	90	-	948,5091686	0,521680043	2,25	115,3575	CUMPLE	948,5091686
	Y-CE57- Y-CE62	D	948,5091686	160	-	1036,165387	-	-	-	-	-	1984,674556
	Y-CE62	C	1984,674556	-	10	-	2122,617773	1,167439775	2,25	115,3575	CUMPLE	2122,617773
Y-CE62- Y-CE63	D	2122,617773	48	-	310,8496162	-	-	-	-	-	2433,467389	

Anexo B

TENSIÓN DE HALADO EN EL ALIMENTADOR B

DIRECCIÓN DE HALADO	TRAMO	DIRECCIÓN	VERIFICACIÓN DE FÓRMULA	TENSIÓN DE HALADO
DESDE LA SUBESTACIÓN YAHCYA HASTA EL EMPALME E-B01	Y-CE147 - Y-CE05	D	-	1303,028175
	Y-CE05	C	CUMPLE	2385,592467
	Y-CE05 - Y-CE09	D	-	3518,898359
	Y-CE09 - Y-CE10	C	CUMPLE	4025,054
		D	-	4238,763111
	Y-CE10 - Y-CE11	C	CUMPLE	4848,463545
		D	-	5062,172656
Y-CE11 - Y-CE13	D	-	5496,066912	
DESDE LA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO B1 HASTA EL EMPALME E-B01	Y-CE64 - Y-CE22	D	-	466,2744244
	Y-CE22	C	CUMPLE	853,6582518
	Y-CE22 - Y-CE13	D	-	2634,567512
DESDE LA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO B1 HASTA EL EMPALME E-B02	Y-CE64 - Y-CE65	D	-	323,8016836
	Y-CE65	C	CUMPLE	592,8182304
	Y-CE65 - Y-CE70	D	-	1888,024965
	Y-CE70 - Y-CE71	C	CUMPLE	2309,69809
		D	-	2452,170831
		C	CUMPLE	2999,840781
		D	-	3142,313522
	Y-CE71 - Y-CE84	D	-	6704,132041
DESDE LA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO B2 HASTA EL EMPALME E-B02	Y-CE102 - Y-CE100	D	-	505,1306264
	Y-CE100	C	CUMPLE	924,7964394
	Y-CE100 - Y-CE98	D	-	1429,927066
	Y-CE98 - Y-CE97	C	CUMPLE	1635,606678

		D	-	1842,839756
	Y-CE97 - Y-CE96	C	CUMPLE	2107,912412
		D	-	2315,14549
	Y-CE96 - Y-CE94	D	-	2923,892655
	Y-CE94	C	CUMPLE	3127,115474
	Y-CE94 - Y-CE84	D	-	6041,330626
DESDE LA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO B2 HASTA EL EMPALME E-B03	Y-CE102 - Y-CE101	D	-	349,7058183
	Y-CE101	C	CUMPLE	640,2436888
	Y-CE101 - Y-CE104	D	-	1158,326383
	Y-CE104 - Y-CE105	C	CUMPLE	1324,939161
		D	-	1538,648272
	Y-CE105 - Y-CE106	C	CUMPLE	1759,966259
		D	-	1973,67537
	Y-CE106 - Y-CE110	D	-	3074,601095
DESDE EL EMPALME E-B03 HASTA EL EMPALME E-B04	Y-CE110 - Y-CE111	D	-	271,9934142
	Y-CE111	C	CUMPLE	497,9673135
	Y-CE111 - Y-CE112	D	-	653,3921216
	Y-CE112	C	CUMPLE	1196,23455
	Y-CE112 - Y-CE113	D	-	1520,036234
	Y-CE113	C	CUMPLE	2782,892233
	Y-CE113 - Y-CE119	D	-	4401,900651
DESDE LA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO B3 HASTA EL EMPALME E-B04		D	-	116,5686061
		C	CUMPLE	213,4145629
	Y-CExx - Y-CE129	D	-	407,6955731
		C	CUMPLE	482,2722034
		D	-	1065,115234
	Y-CE129	C	CUMPLE	1950,019904
	Y-CE129 - Y-CE127	D	-	2539,338969
Y-CE127 - Y-CE121	C	CUMPLE	2715,833691	

		D	-	2897,162634
		C	CUMPLE	3098,527604
		D	-	3325,188782
		C	CUMPLE	3556,303367
		D	-	4786,749765
DESDE LA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO B3 HASTA EL EMPALME E-B05	CÁM. B2 - Y-CE130	D	-	116,5686061
		C	CUMPLE	213,4145629
		D	-	472,4559098
		C	CUMPLE	639,2673295
		D	-	969,5450468
		C	CUMPLE	1356,689498
		D	-	2004,292865
		C	CUMPLE	2622,35303
	Y-CE130	C	CUMPLE	5986,65746
	Y-CE130 - Y-CE131	D	-	6142,082268
DESDE LA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO A2 HASTA EL EMPALME E-B05	Y-CE63 - Y-CE146	D	-	621,6992325
	Y-CE146	C	CUMPLE	687,6288231
	Y-CE146 - Y-CE142	D	-	1555,417335
	Y-CE142	C	CUMPLE	2847,668183
	Y-CE142 - Y-CE136	D	-	4401,916265
	Y-CE136 - Y-CE135	C	CUMPLE	5035,084524
		D	-	5248,793635
	Y-CE135 - Y-CE134	C	CUMPLE	6003,776085
		D	-	6217,485196
Y-CE134 - Y-CE132	D	-	6606,047216	

ANEXO C

TENSIÓN DE HALADO EN EL ALIMENTADOR C

DIRECCIÓN DE HALADO	TRAMO	DIRECCIÓN	TENSIÓN ANTERIOR	LONGITUD [m]	ÁNGULO [°]	T. DIRECTO	T. CURVA	MÍNIMO RADIO DE CURVATURA	RADIO INTERNO [Feet]	VERIFICACIÓN DE FÓRMULA		TENSIÓN DE HALADO
DESDE EL EMPALME E-C01 HASTA LA SUBESTACIÓN YACHAY	Y-CE154 - Y-CE153	D	0	33	-	213,7091112	-	-	-	-	-	213,7091112
	Y-CE153	C	213,7091112	-	20	-	244,4488658	0,134446876	2,25	115,3575	CUMPLE	244,4488658
	Y-CE153 - Y-CE149	D	244,4488658	181	-	1172,162095	-	-	-	-	-	1416,61096
	Y-CE149	C	1416,61096	-	90	-	2593,540569	1,426447313	2,25	115,3575	CUMPLE	2593,540569
	Y-CE149 - Y-CE147	D	2593,540569	100	-	647,6033672	-	-	-	-	-	3241,143936
DESDE EL EMPALME E-C01 HASTA EL EMPALME E-C02	Y-CE154 - Y-CE155	D	0	33	-	213,7091112	-	-	-	-	-	213,7091112
	Y-CE155	C	213,7091112	-	90	-	391,2600321	0,215193018	2,25	115,3575	CUMPLE	391,2600321
	Y-CE155 - Y-CE156	D	391,2600321	24	-	155,4248081	-	-	-	-	-	546,6848402
	Y-CE156 - Y-CE157	C	546,6848402	-	90	-	1000,874165	0,55048079	2,25	115,3575	CUMPLE	1000,874165
		D	1000,874165	33	-	213,7091112	-	-	-	-	-	1214,583276
	Y-CE157 - Y-CE158	C	1214,583276	-	20	-	1389,288002	0,764108401	2,25	115,3575	CUMPLE	1389,288002
		D	1389,288002	33	-	213,7091112	-	-	-	-	-	1602,997114
	Y-CE158 - Y-CE174	D	1602,997114	680	-	4403,702897	-	-	-	-	-	6006,70001
DESDE EL EMPALME E-C02 HASTA EL EMPALME E-C03	Y-CE174 - Y-CE183	D	0	395	-	2558,0333	-	-	-	-	-	2558,0333
	Y-CE183	C	2558,0333	-	25	-	3025,954751	1,664275113	2,25	115,3575	CUMPLE	3025,954751

	Y-CE182 - Y-CE184	D	3025,954751	98	-	634,6512998	-	-	-	-	-	3660,60605
	Y-CE184 - Y-CE193	D	3660,60605	328	-	2124,139044	-	-	-	-	-	5784,745095
DESDE EL EMPALME E-C03 HASTA EL EMPALME E-C04	Y-CE193 - Y-CE196	D	0	142	-	919,5967814	-	-	-	-	-	919,5967814
	Y-CE196	C	919,5967814	-	90	-	1683,603774	0,925982076	2,25	115,3575	CUMPLE	1683,603774
	Y-CE196 - Y-CE197	D	1683,603774	24	-	155,4248081	-	-	-	-	-	1839,028582
	Y-CE197	C	1839,028582	-	90	-	3366,905501	1,851798026	2,25	115,3575	CUMPLE	3366,905501
	Y-CE197 - Y-CE198	D	3366,905501	33	-	213,7091112	-	-	-	-	-	3580,614613
	Y-CE198 - Y-CE199	C	3580,614613	-	20	-	4095,647472	2,25260611	2,75	140,9925	CUMPLE	4095,647472
		D	4095,647472	33	-	213,7091112	-	-	-	-	-	4309,356583
	Y-CE199 - Y-CE200	D	4309,356583	66	-	427,4182223	-	-	-	-	-	4736,774805
	Y-CE200	C	4736,774805	-	10	-	5066,000547	2,786300301	3,25	166,6275	CUMPLE	5066,000547
	Y-CE200 - Y-CE201	D	5066,000547	18	-	116,5686061	-	-	-	-	-	5182,569153
	Y-CE201	C	5182,569153	-	10	-	5542,779474	3,04852871	3,25	166,6275	CUMPLE	5542,779474
	Y-CE201 - Y-CE207	D	5542,779474	330	-	2137,091112	-	-	-	-	-	7679,870585
DESDE LA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO O C1 HASTA EL EMPALME E-C04	Y-CE225 - Y-CE223	D	0	73	-	472,750458	-	-	-	-	-	472,750458
	Y-CE223	C	472,750458	-	90	-	865,5146164	0,476033039	2,25	115,3575	CUMPLE	865,5146164
	Y-CE223 - Y-CE221	D	865,5146164	105	-	679,9835355	-	-	-	-	-	1545,498152
	Y-CE221	C	1545,498152	-	15	-	1709,394221	0,940166822	2,25	115,3575	CUMPLE	1709,394221
	Y-CE221 - Y-CE207	D	1709,394221	500	-	3238,016836	-	-	-	-	-	4947,411057

Anexo D

TENSIÓN DE HALADO EN EL ALIMENTADOR D

DIRECCIÓN DE HALADO	TRAMO	DIRECCIÓN	TENSIÓN ANTERIOR	LONGITUD [m]	ÁNGULO [°]	T. DIRECTO	T. CURVA	MÍNIMO RADIO DE CURVATURA	RADIO INTERNO [Feet]	VERIFICACIÓN DE FÓRMULA	TENSIÓN DE HALADO
DESDE LA SUBESTACIÓN YACHAY HASTA EL EMPALME E-D01	Y-CE01 - Y-CE03	D	500	100	-	647,6033672	-	-	-	-	1147,603367
	Y-CE03	C	1147,603367	-	90	-	2101,039716	1,155571844	2,25	115,3575 CUMPLE	2101,039716
	Y-CE03 - Y-CE232	D	2101,039716	291	-	1884,525798	-	-	-	-	3985,565514
DESDE LA CÁMARA DE SECCIONAMIENTO D1 HASTA EL EMPALME E-D01	Y-C241 - Y-CE239	D	0	76	-	492,1785591	-	-	-	-	492,1785591
	Y-CE239	C	492,1785591	-	90	-	901,0837102	0,495596041	2,25	115,3575 CUMPLE	901,0837102
	Y-CE239 - Y-CE232	D	901,0837102	290	-	1878,049765	-	-	-	-	2779,133475