



Osinergmin

ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA Y MINERÍA

VALOR AGREGADO DE DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS RURALES

Miguel Révolo
Gerente de Distribución Eléctrica

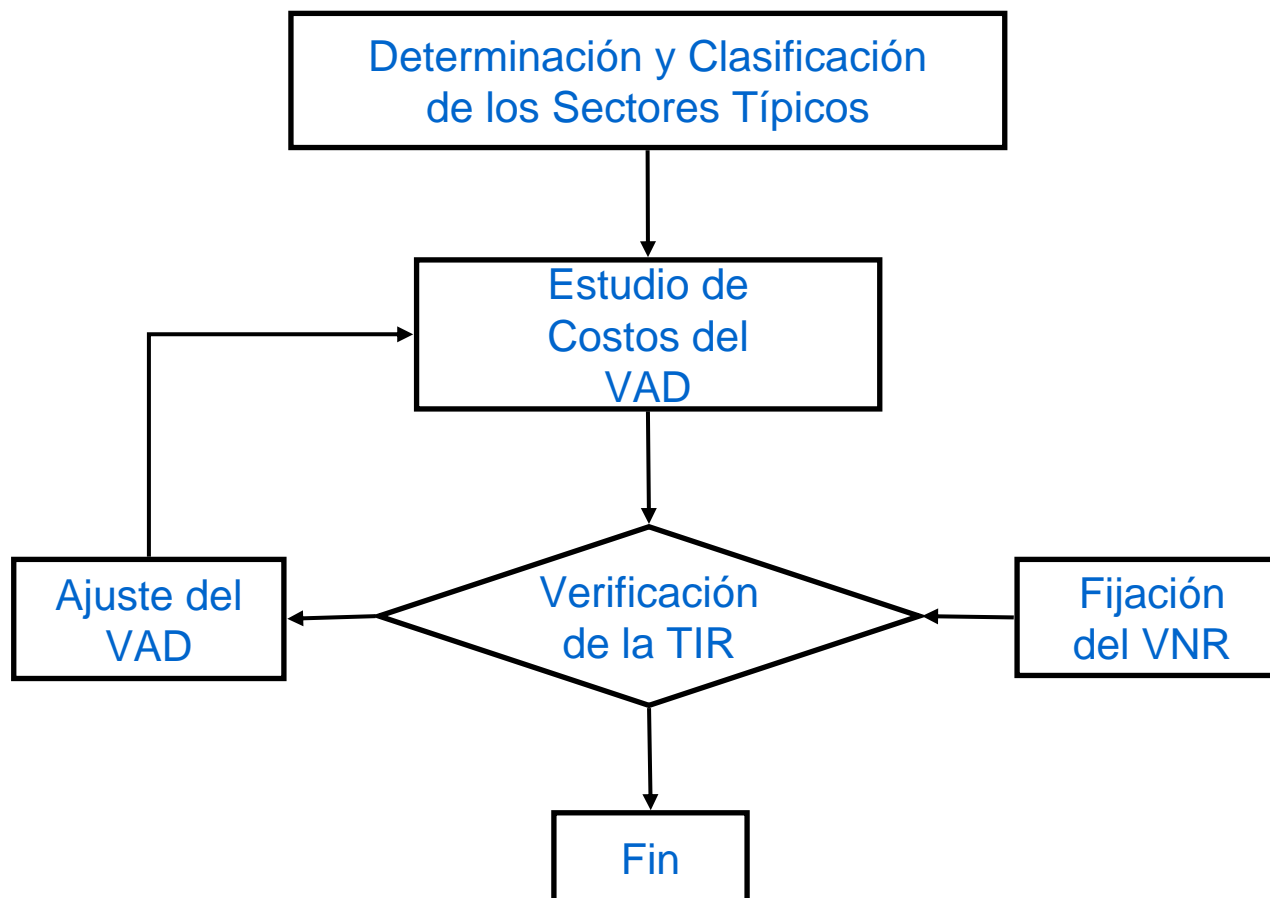
Abril de 2010



Definición del Valor Agregado de Distribución

- La tarifa es determinada a través de una empresa modelo teórica utilizando el concepto del sistema económicamente adaptado.
- La tarifa es denominada Valor Agregado de Distribución (VAD) que considera:
 - Costos asociados al usuario independiente del consumo
 - Pérdidas estándar de energía y potencia
 - Costos estándar de inversión, operación y mantenimiento por unidad de demanda suministrada
- Costo estándar de inversión es igual a la anualidad del Valor Nuevo de Reemplazo del Sistema Económicamente Adaptado.

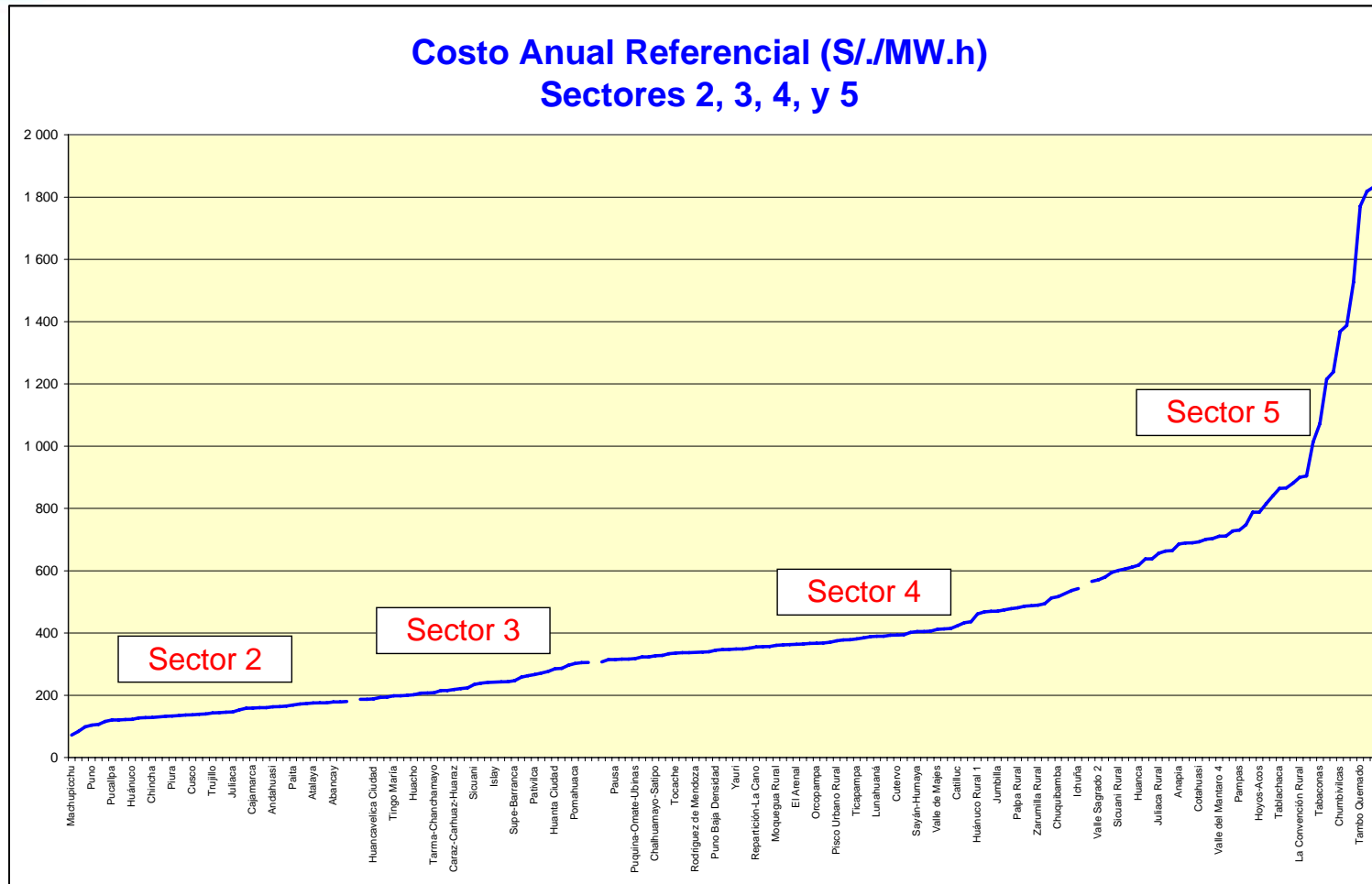
Proceso de Cálculo del VAD



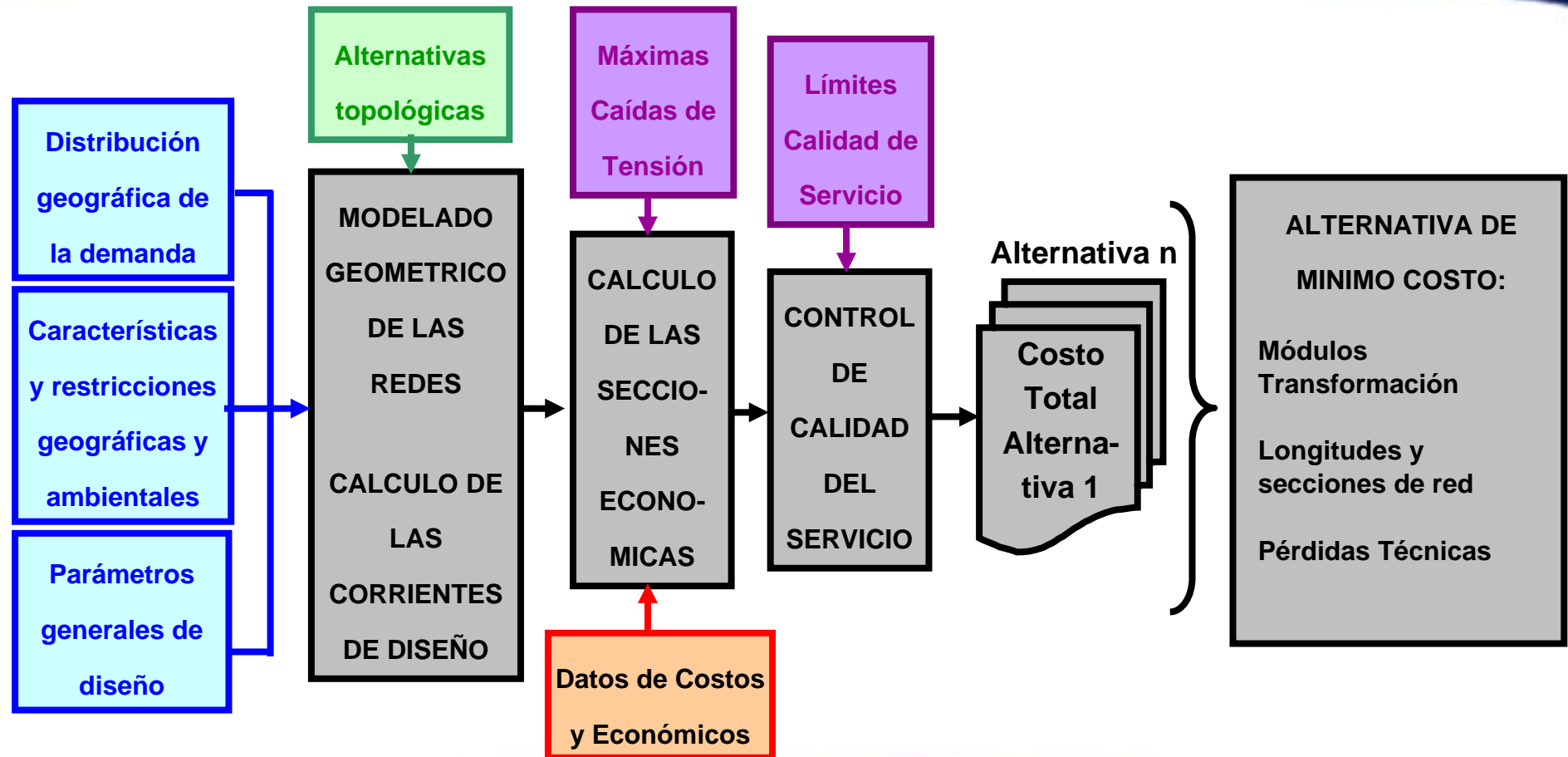
Sectores Típicos de Distribución

Sector	Fijación 2005-2009	Fijación 2009-2013
Sector 1	Sistemas Lima Norte y Lima Sur	Sistemas Lima Norte y Lima Sur
Sectores 2, 3, 4 y 5	Basada en indicadores técnicos	Basada en indicadores económicos
	I1: Redes MT/MW	S1: Costo MT/MW.h
	I2: Redes BT-SP/MW	S2: Costo SED+BT/MW.h
	I3: Usuarios/MW.h	S3: Costo Usuarios/MW.h
	Técnica de regresión	Técnica variable agregada
	Estimación del nivel de costo (Iclasif)	Indicativo del costo anual referencial (CAR)
	Estratificación sistemas por ranking	Estratificación sistemas por ranking
Sector Especial	Sistema Villacurí	Sistema Villacurí
Sector SER	---	SER calificados por el MINEM, según LGER y su Reglamento

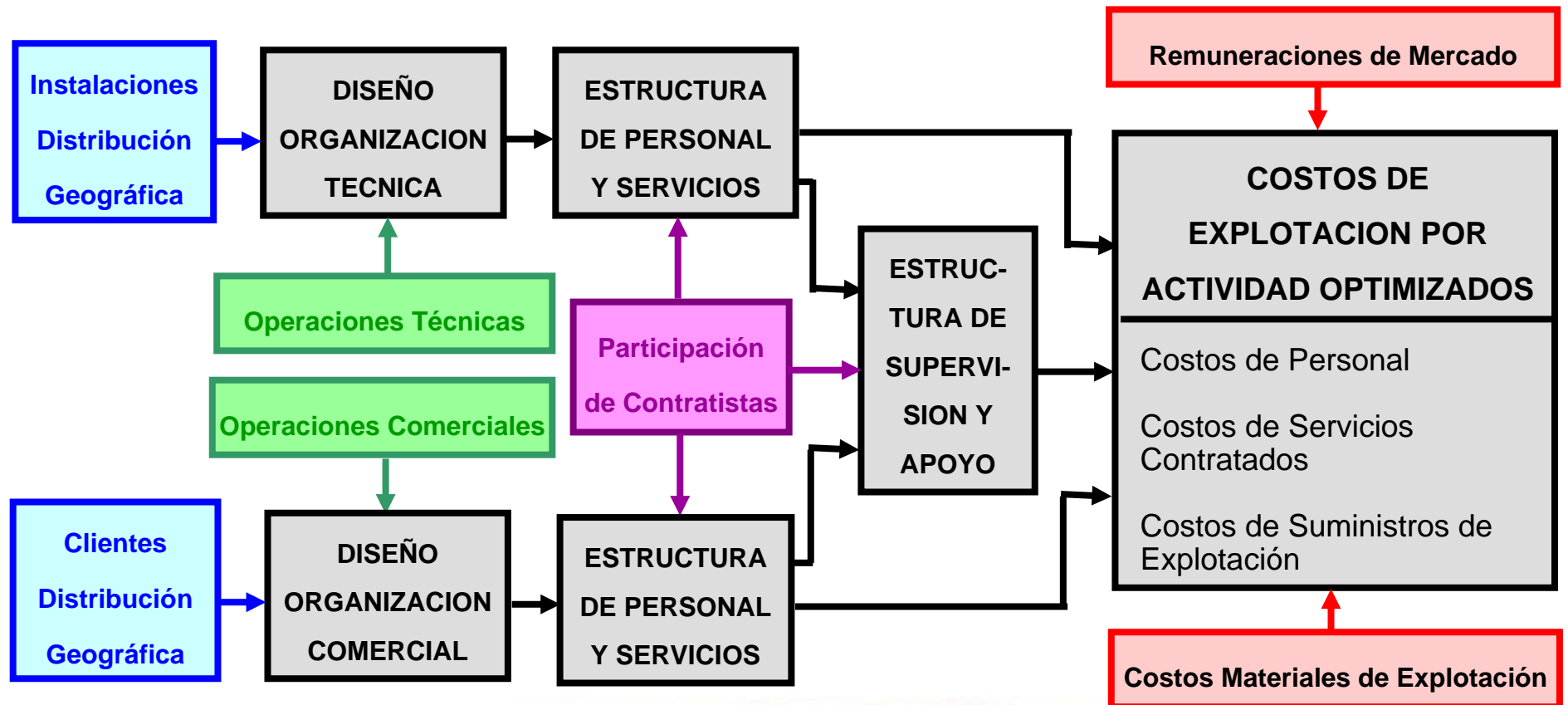
Sectores Típicos de Distribución

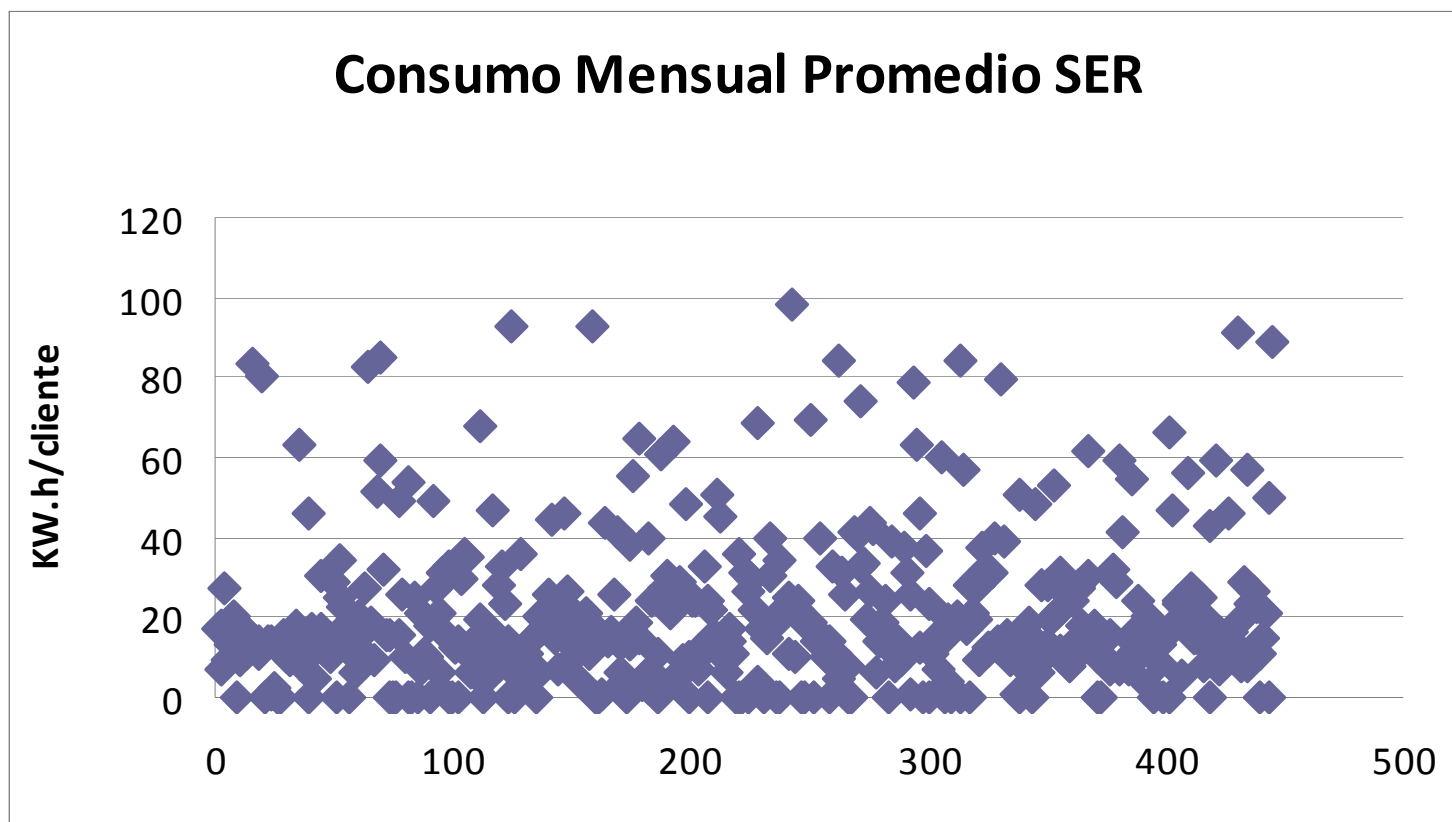


Diseño de la Red de la Empresa Modelo

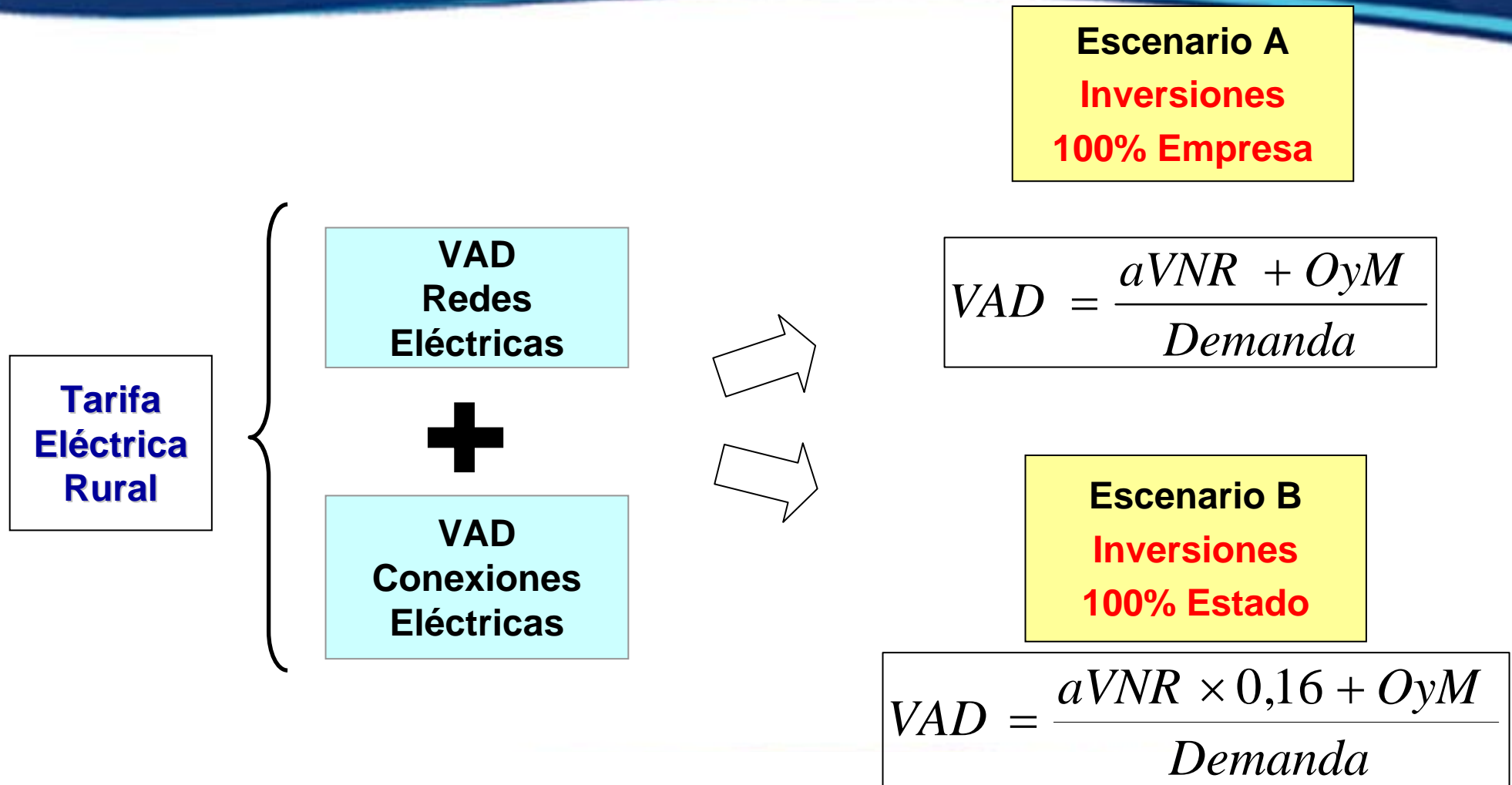


Optimización de los costos de O y M de la Empresa Modelo - Metodología





Valor Agregado de Distribución



Incorporación del costo de conexión

Para las conexiones eléctricas se consideró dos alternativas: con medidor convencional y medidor prepago monocuerpo con tarjeta:

Valor Nuevo de Reemplazo-VNR de la Conexiones Eléctricas

Alternativas: Tipo de Medidor 2 hilos, Pc ≤ 3 kW	Opción	Número de Usuarios del SEM	Costo Conexión Aérea Simple (S/.)	Costo Total por Conexiones	
	Tarifaria			(miles S/.)	(miles US\$/.)
1. Convencional	BT5B	3 335	293	977,16	311,00
2. Prepago Monocuerpo Tarjeta	BT7	3 335	486	1 620,81	515,85

Para la alternativa de conexiones con **medidor convencional**, el VNR total asciende a **1 167 miles US\$**, de los cuales 448 miles US\$ corresponden a MT y 719 miles US\$ corresponden a BT.

Para la alternativa de conexiones con **medidor prepago monocuerpo con tarjeta**, el VNR total asciende a **1 372 miles US\$**, de los cuales 448 miles US\$ corresponden a MT y 924 miles US\$ corresponden a BT.

$$M - TO = \underbrace{fp \times aVNR}_{\text{M-RT}} + \underbrace{(1 - fp) \times aVNR \times 0,16}_{\text{M-RP}}$$

M-RT : Monto de Retribución

M-RP : Monto de Reposición

fp : Factor de Proporción

aVNR : Anualidad del VNR

M-TO : Monto Total

SER- 100% Estado Prepago

Sector Típico SER - Inversiones 100% Estado

Medidor Prepago

Descripción	Unidad	VAD			Cargo Fijo			
		MT	BT	SED MT/BT	CFE	CFS	CFH	CFEAP
Valor Nuevo de Reemplazo	miles US\$	453.874	927.418	114.210				
Costo Anual de Reposición (bVNR)	miles US\$	8.508	17.385	2.141				
Costo Anual de OyM	miles US\$	21.479	29.895	10.935				
Total Costo Anual	miles US\$	29.987	47.280	13.076	29.677	---	0.079	---
Demanda	kW	422	375	375				
Número de clientes	unidad				3 335	---	2	---
VAD Inversión	US\$/kW-mes	1.595	3.670	0.452				
VAD OyM	US\$/kW-mes	4.242	6.650	2.433				
VAD	US\$/kW-mes	5.837	10.320	2.885				
Cargo Fijo	US\$/mes				0.742	3.281	3.281	0.742

SER- 100% Estado Convencional

Sector Típico SER - Inversiones 100% Estado

Medidor Convencional

Descripción	Unidad	VAD			Cargo Fijo				
		MT	BT	SED MT/BT	CFE	CFS	CFH	CFEAP	CFE (1)
Valor Nuevo de Reemplazo	miles US\$	453.874	722.563	114.210					
Costo Anual de Reposición (bVNR)	miles US\$	8.508	13.545	2.141					
Costo Anual de OyM	miles US\$	22.794	31.612	11.588					
Total Costo Anual	miles US\$	31.302	45.157	13.729	42.511	---	0.079	---	23.074
Demanda	kW	422	375	375					
Número de clientes	unidad				3 335	---	2	---	3 335
(1) Lectura semestral									
VAD Inversión	US\$/kW-mes	1.595	2.859	0.452					
VAD OyM	US\$/kW-mes	4.502	7.032	2.578					
VAD	US\$/kW-mes	6.097	9.891	3.030					
Cargo Fijo	US\$/mes				1.062	3.281	3.281	1.062	0.577

SER- 100% Empresa Prepago

Sector Típico SER - Inversiones 100% Empresa

Medidor Prepago

Descripción	Unidad	VAD			Cargo Fijo			
		MT	BT	SED MT/BT	CFE	CFS	CFH	CFEAP
Valor Nuevo de Reemplazo	miles US\$	453.874	927.418	114.210				
Costo Anual de Inversión (aVNR)	miles US\$	56.346	115.133	14.178				
Costo Anual de OyM	miles US\$	21.479	29.895	10.935				
Total Costo Anual	miles US\$	77.825	145.028	25.113	29.677	---	0.079	---
Demanda	kW	422	375	375				
Número de clientes	unidad				3 335	---	2	---
VAD Inversión	US\$/kW-mes	10.560	24.302	2.993				
VAD OyM	US\$/kW-mes	4.242	6.650	2.433				
VAD	US\$/kW-mes	14.802	30.952	5.426				
Cargo Fijo	US\$/mes				0.742	3.281	3.281	0.742

SER- 100% Empresa Convencional

Sector Típico SER - Inversiones 100% Empresa

Medidor Convencional

Descripción	Unidad	VAD			Cargo Fijo				
		MT	BT	SED MT/BT	CFE	CFS	CFH	CFEAP	CFE (1)
Valor Nuevo de Reemplazo	miles US\$	453.874	722.563	114.210					
Costo Anual de Inversión (aVNR)	miles US\$	56.346	89.702	14.178					
Costo Anual de OyM	miles US\$	22.794	31.612	11.588					
Total Costo Anual	miles US\$	79.139	121.313	25.766	42.511	---	0.079	---	23.074
Demanda	kW	422	375	375					
Número de clientes	unidad				3 335	---	2	---	3 335
(1) Lectura semestral									
VAD Inversión	US\$/kW-mes	10.560	18.934	2.993					
VAD OyM	US\$/kW-mes	4.502	7.032	2.578					
VAD	US\$/kW-mes	15.062	25.966	5.571					
Cargo Fijo	US\$/mes				1.062	3.281	3.281	1.062	0.577

Comparación de Tarifas por Sector Típico

Opción Tarifaria BT5B – Cargos al 04/04/2010 (Sin Ponderar VAD y Sin FOSE)

Sector		Cargo Fijo (US\$)	Cargo Energia (ctv.US\$/kW.h)	Precio Medio (75 kW.h) (ctv.US\$/kW.h)	
Sector 1		0.77	11.13	12.16	
Sector 2		0.78	12.10	13.14	
Sector 3		1.00	14.98	16.31	
Sector 4		1.01	17.59	18.94	
Sector 5		1.06	26.03	27.44	
Sector SER	100% Estado	Prepago	1.13	18.66	20.16
		Convencional	1.13	18.57	20.07
	100% Empresa	Prepago	1.13	32.79	34.29
		Convencional	1.13	30.50	32.00



Osinergmin

ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA Y MINERÍA

**BASE TECNOLÓGICA DEL LAS
TARIFAS RURALES
SISTEMA MONOFILAR RETORNO
POR TIERRA – (MRT)**



“El sistema MRT está siendo usado alrededor del mundo como una tecnología para suministrar energía eléctrica a 2 billones de personas quienes dependían tradicionalmente de los combustibles para cocinar e iluminar. El sistema MRT sirve como una tecnología de entrada de bajo costo para la electrificación de comunidades rurales desde una sistema eléctrico o pequeño sistema aislados. En este rol ésta tecnología se ajusta mejor donde: a) la energía demandada por el cliente es pequeña, ejemplo entre 30 a 10 KWh por mes; b) la demanda máxima del cliente en los primeros 10 años de electrificación permanece debajo de 500 VA, y c) prevalece una baja densidad de usuarios.”

(*) Conrad W. Holland: Single Wire Earth Return for remote Rural Distribution
Reducing costs and improving

- A fines del Siglo XIX, Nicola Tesla demostró que solo un conductor era necesario para los sistemas de distribución, ya que no se requería de un conductor de retorno sino que en lugar del conductor sólo se requería la tierra.
- Alrededor del año 1925 el ingeniero electricista Lloyd Mandeno desarrollo el sistema monofilar retorno por tierra (MRT) en Nueva Zelanda.
- El sistema MRT es considerado seguro, confiable y de bajo costo, en la condición que los aspectos de seguridad y puesta a tierra sean correctamente instalados.
- Más de 200 000 Km de redes se han instalado hasta ahora en Australia y Nueva Zelanda.
- Dichos sistemas además son usados en Canadá, Brasil, México, Sudáfrica y porciones de USA.

Seguridad: Puesta a Tierra

Subestaciones de Distribución

- La puesta a tierra es un punto crítico. Una buena calidad de conexión a tierra es requerida para prevenir el riesgo de una descarga eléctrica debido a un potencial aumento de la tierra cerca de este punto.
- La resistencia de puesta a tierra de las subestaciones debe calcularse para cumplir con una Tensión de Toque para cumplir con la seguridad de las personas) y de los animales que podrían pasar en la cercanía de las estructuras.
- La resistencia de puesta a tierra en las subestaciones de distribución no deben superar los 10 ohmios.
- El estudio del VAD ha adoptado el sistema de puesta a tierra con 3 varillas conectados al cable de bajada con soldadura exotérmica. Cada varilla se encuentra separada a 2.4 m entre si, similar a la puesta tierra PAT-3

Puesta a tierra de las estructuras

- La PT en las estructuras, se viene utilizando el armado PAT-0, que es un conductor de bajada, con un anillo de Cu de 1,0 m de radio alrededor del poste.
- El PAT-0 logra un equipotencial alrededor del poste, y cumple con las exigencias de la tensión de toque- V_t y paso- V_p alrededor de las estructuras.
- En el caso extremo que se supere los $V_t = 64$ V para la protección de personas, con el equipotencial se logra un mismo valor de V_t , de tal forma que no se produzcan tensiones V_t y V_p inadmisibles que puedan afectar la vida de las personas o los animales.
- Este criterio permite garantizar que las líneas retorno por tierra bien diseñadas no afecten la vida.

Capacidad de Distribución del Sistema MRT

- En 1940, por razones de interferencia de las comunicaciones con las líneas telegráficas, Lloyd Mandeno había estableció un límite de corriente de transporte de 8 A.
- Con el desarrollo de la telefonía, se descontinuaron las líneas telegráficas, y en paralelo se efectuaron estudios en México para ver la capacidad de transporte a las cuales se podría llegar, planteándose valores de 15 y 20 A.
- En el Programa de Electrificación Rural de Electroperú, se efectuaron pruebas en el Valle del Mantaro, Cusco y Huaraz, entre 1984 a 1987, lográndose resultados satisfactorios con 15 y 20 A.

Capacidad de Distribución del Sistema MRT

- En base a dichos resultados, la DGE procedió a normalizar el sistema MRT, y Electroperú comenzó a aplicar el sistema MRT con los 15 A a partir del año 1986, lo cual ha continuado aplicándose en la DGER (Ex DEP).
- Se cuenta con la Directiva sobre Electrificación Rural emitida por la DGE N° 001-85-EM/DGE y los “Criterios para la Selección y de Diseño de los Sistemas de Distribución Rural en el Perú”, desarrollado por Electroperú en 1986, el cual indica la corriente de 15 A para las líneas con retorno por tierra.

Ventajas de Costo

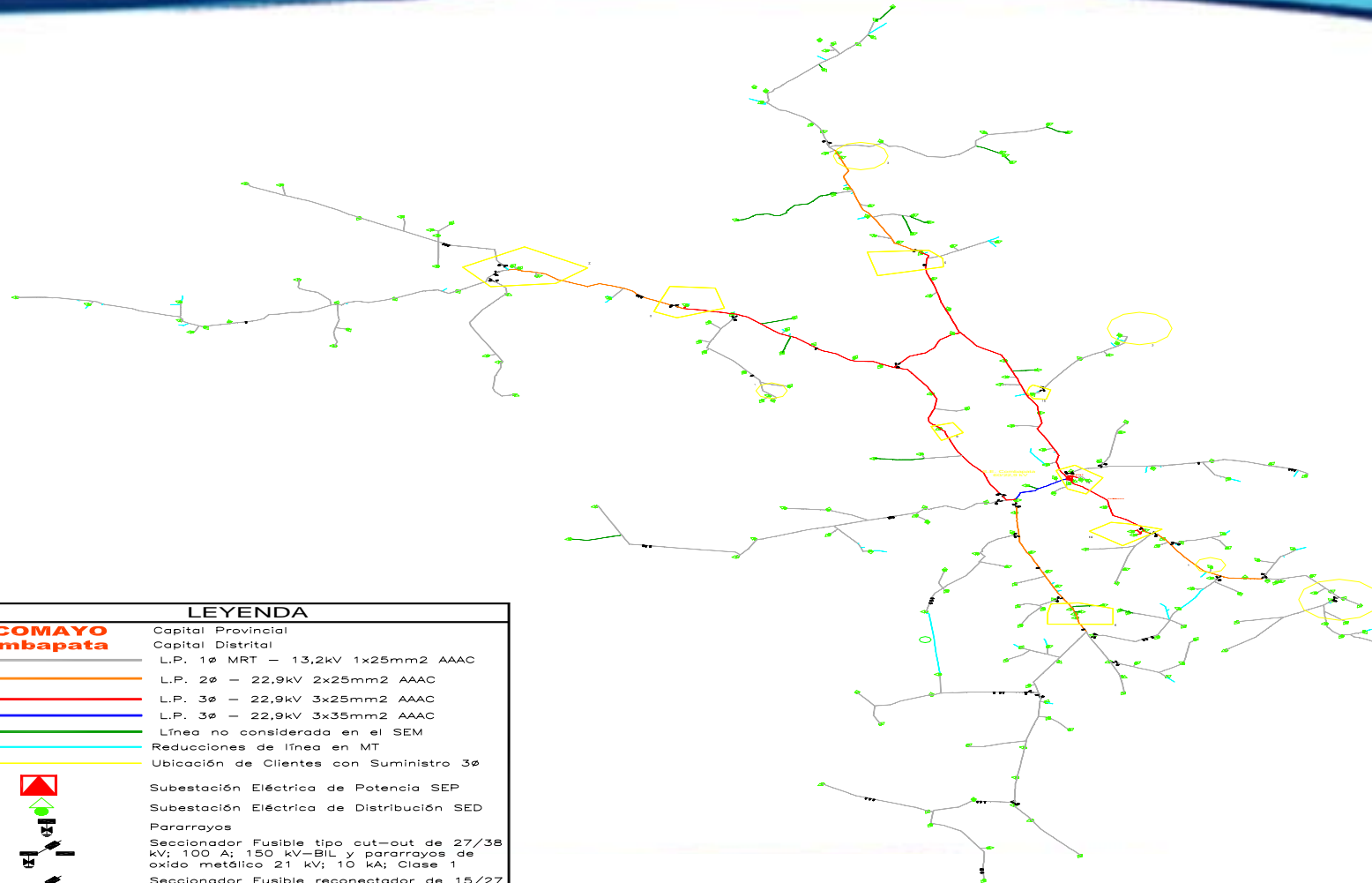
Tipo de Red	Miles de US\$/km
Red Aérea Retorno por Tierra	3.15
Red Aérea Bifásica	4.47
Red Aérea Trifásica	5.67













Ventajas de Costo

Descripción	Empresa Real	Empresa Modelo
Red Aérea Retorno por Tierra	0	358
Red Aérea Monofásica	19	0
Red Aérea Bifásica	135	41
Red Aérea Trifásica	364	68
Total km.	517	466
VNR en Miles de US\$	9 509	5 707

Se tiene un ahorro en la inversión del 40%

SS. EE. Rural Combapata



LEYENDA	
ACOMAYO	Capital Provincial
Combapata	Capital Distrital
	L.P. 1ø MRT - 13,2kV 1x25mm ² AAAC
	L.P. 2ø - 22,9kV 2x25mm ² AAAC
	L.P. 3ø - 22,9kV 3x25mm ² AAAC
	L.P. 3ø - 22,9kV 3x35mm ² AAAC
	Línea no considerada en el SEM
	Reducciones de línea en MT
	Ubicación de Clientes con Suministro 3ø
	Subestación Eléctrica de Potencia SEP
	Subestación Eléctrica de Distribución SED
	Pararrayos
	Seccionador Fusible tipo cut-out de 27/38 kV; 100 A; 150 kV-BIL y pararrayos de óxido metálico 21 kV; 10 kA; Clase 1
	Seccionador Fusible reconector de 15/27 kV; 100 A; 150 kV-BIL y pararrayos de óxido metálico 12 kV; 10 kA; Clase 1

Empleo de los Convertidores de Fase para atender las Cargas 3F

Rango de consumo	Clientes SED Trifásica	Clientes SED (SWER)	Total Clientes	Consumo (kWh-mes)	Demanda Máxima (kW)	% Clientes	Ameritan ser suministro trifásico?
De 0 a 100 kWh	42	190	232	34	0,2	72%	No
De 101 a 300 kWh	14	46	60	154	0,8	19%	No
> de 300 kWh	10	20	30	768	2,9	9%	Si
Total	66	257	322	126,86		100%	

Detalle de los Convertidores de Fase Reconocidos en la TF

Modelo N°	HP	Peso kg	Pot. Máx.-kW	Costo US\$	Cantidad	Costo Total US\$
PAM-300HD	1 a 3	1,4	1,5	290,20	4	1 161
PAM-600HD	3 a 5	1,8	2,5	345,55	10	3 455
PAM-900HD	4 a 8	1,8	4,0	415,99	3	1 248
PAM-1200HD	8 a 12	2,2	6,0	571,96	1	572
PAM-1800HD	12 a 18	9,5	9,0	1 044,92	2	2 090
PAM-3600HD	20 a 30	13,6	14,9	1 417,25	0	0
Total					20	8 526

Criterios Técnicos para una buena construcción de los MRT

- Uso de postes de madera de pino, con un 40% del peso del poste de CAC, lo que facilita el transporte y la instalación de zonas rurales.
- El poste de madera permite obtener el nivel de aislamiento de 300 kV, y así reducir las salidas fuera de servicio por descargas atmosféricas indirectas. Este aspecto va asociado a la puesta a tierra-PT.
- En las zonas donde se tenga humedad y lluvia, que ocasione la quema de crucetas y la punta del poste, por la ionización de las gotas de agua en los huecos donde van los pines, se recomienda cortocircuitar dichos huecos con un alambre N° 8 ó 10 AWG.

Criterios Técnicos para una buena construcción de los MRT

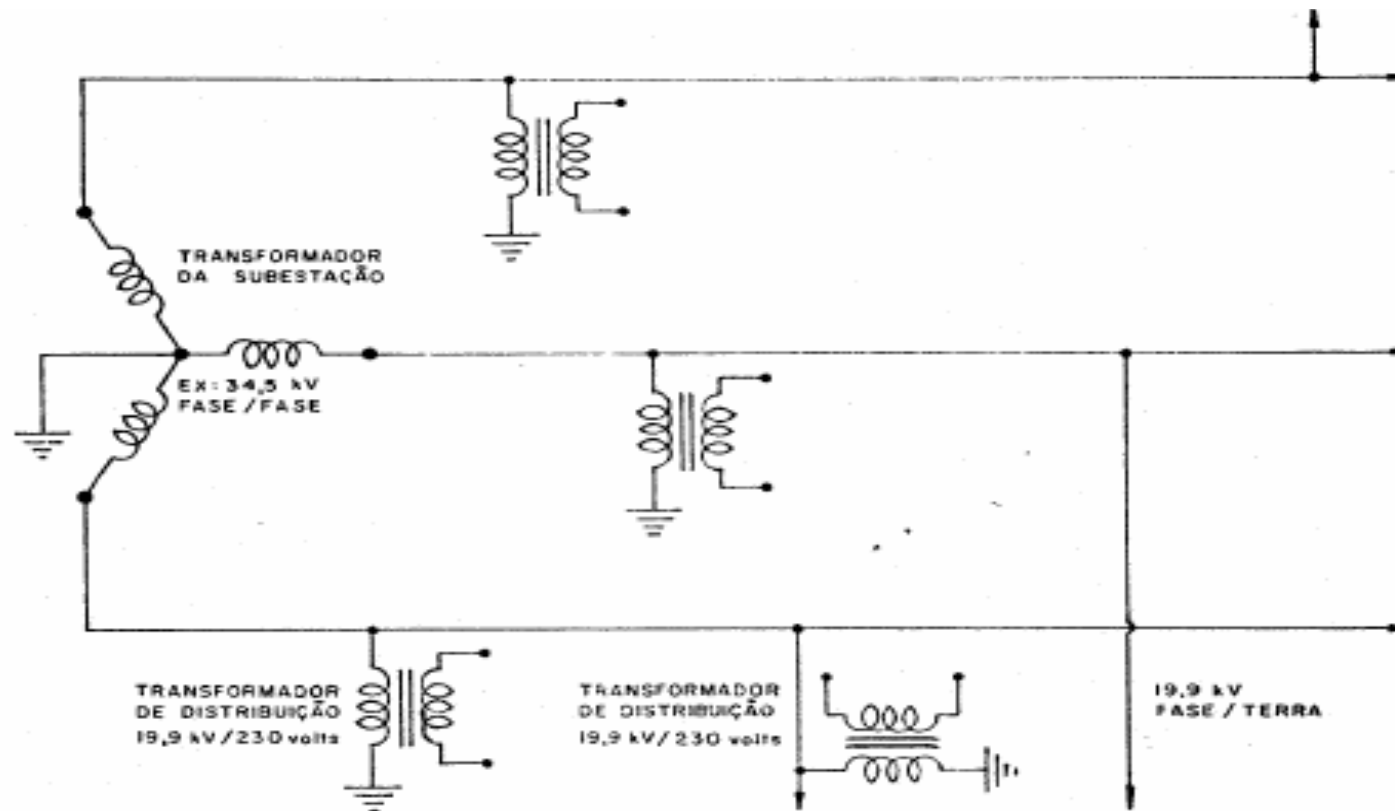
- Respecto a la PT en las estructuras, se viene utilizando el PAT-0, que es un conductor de bajada, con un anillo de Cu de 1,0 m de radio alrededor del poste.
- Uso de varilla de armar de aluminio y amortiguadores tipo espiral.
- EDS de 18% inicial del tiro de rotura, para proteger al conductor contra la fatiga y las vibraciones. Los vanos especiales que superan los 300 m en los cruces de las quebradas se recomienda un EDS del 12% y el uso de amortiguadores.

Aplicação atual del Sistema MRT

Tabela 3 – Sistemas MRT implantados pelas empresas distribuidoras de Energia Elétrica

Empresa	Estado	Região	Início das Experiências	Sistema MRT Implantado					
				MRT Monofilar		MRT – Monofilar com Trafo de Isolamento		MRT Neutro Parcial	
				Cons. Ligados	km de Linha	Cons. Ligados	km de Linha	Cons. Ligados	km de Linha
CEMAR	MA	Nordeste	1979	1.800	2.000	-	-	-	-
CELPE	PE	Nordeste	1980	2.000	370	-	-	1.100	500
COBER	BA	Nordeste	1980	4.201	258	-	-	19	27
LIGHT	RJ	Sudeste	1982	-	-	108	59	298	134
CESP	SP	Sudeste	1981	52	73	-	-	-	-
COPEL	PR	Sul	1967	53.000	20.000	-	-	-	-
CELESC	SC	Sul	1974	3.000	1.500	-	-	50.000	12.500
CEEE	RS	Sul	1980	8.750	3.500	-	-	-	-
TOTAL				72.803	27.701	108	59	51.417	13.211

Sistema 34,5/20 kV utilizado por la empresa de distribución COPEL



Tipos de puesta a tierra

EEDD -Brasil

Empresa	Interliga o Neutro da A.T. e B.T.	Separa o Neutro da A.T. e B.T.	Tipo e Dimensões da Haste de Terra	Tipo e Bitola do Condutor de Descida	Tipo de Conexão
CEMAR	Sim	Não	Cantoneira de ferro galv. De 2,40 m e haste cobreada de 2,00 m	Cabo de cobre Nu n.º 2 AWG	Conector de aperto
CELPE	Sim	Não	Aço cobreada de 2,00 m	Fio de cobre Nu n.º 4 AWG	Conector de aperto
COBER	Não	Sim	Aço cobreada de 2,40 m	Cabo de cobre isolado 25 mm ² e cabo de aço cobreado	Solda exotérmica
LIGHT	Não	Sim	Aço cobreada de 3,00 m	Cordoalha de aço de 5/16" e cabo de cobre Nu de 25 mm ²	Conector de aperto
CESP	Não	Sim	Cantoneira de ferro galv. De 2,40 m e haste cobreada de 2,40 m	Fio de ferro galv. n.º 4 AWG	Conector de aperto
COPEL	Sim	Não	Aço cobreada de 2,40 m	Fio de cobre Nu n.º 4 AWG	Solda exotérmica
CELESC	Sim	Não	Haste de aço galv. de 2,40 m e haste cobreada de 2,00 m	Cabo de aço galv. de 6,4 mm e cabo de cobre Nu n.º 2 AWG	Conector de aperto
CEEE			Aço cobreada de 2,40 m	Fio de aço cobreado n.º 6 AWG	Conector de aperto

Conclusiones

- Las tarifas de distribución eléctrica del sector rural considera que los sistemas MRT son técnica y económicamente más eficientes.
- Los sistemas de distribución MRT son 40% mas económicos que los sistemas de distribución convencionales.
- Los armados de puesta a tierra reconocidos en la tarifa garantizan tensiones de toque y paso acorde con las requerimientos de seguridad solicitados por la Norma DGE RD-018-2003-EM/DGE.
- La tarifa de distribución del sector rural con redes MRT reconoce los convertidores de fase para los usuarios trifásicos con consumos superiores a 300 kW.h.

- La capacidad de transporte de los sistemas de distribución MRT utilizados para el diseño de la empresa modelo del sector rural no supera los valores de 15 Amperios de acuerdo con la directiva emitida por la Dirección General de Electricidad, DGE N° 001-85-EM/DGE y los “Criterios para la Selección y de Diseño de los Sistemas de Distribución Rural en el Perú” desarrollado por Electro Perú en 1986.
- El Ministerio de Energía y Minas debe de implementar las normas de construcción y seguridad para el desarrollo y operación segura de los sistemas monofilares por retorno por tierra (MRT).

“En el contexto de la electrificación rural para los países en desarrollo, el sistema MRT es la tecnología ideal hacer empleada en las etapas iniciales de la electrificación. El tema más importante es planificar la red previendo su modificación futura de MRT a redes de distribución con dos conductores y luego a tres conductores (trifásica). La modificación futura incluye el uso de materiales y equipos comunes que permanecen en servicio en tanto la demanda se desarrolla y el coeficiente de electrificación se incrementa”

(*) Conrad W. Holland: Single Wire Earth Return for remote Rural Distribution Reducing costs and improving reliability. Maunsell Ltd, an AECOM Company, Auckland New Zealand.

Gracias

mrevolo@osinerg.gob.pe