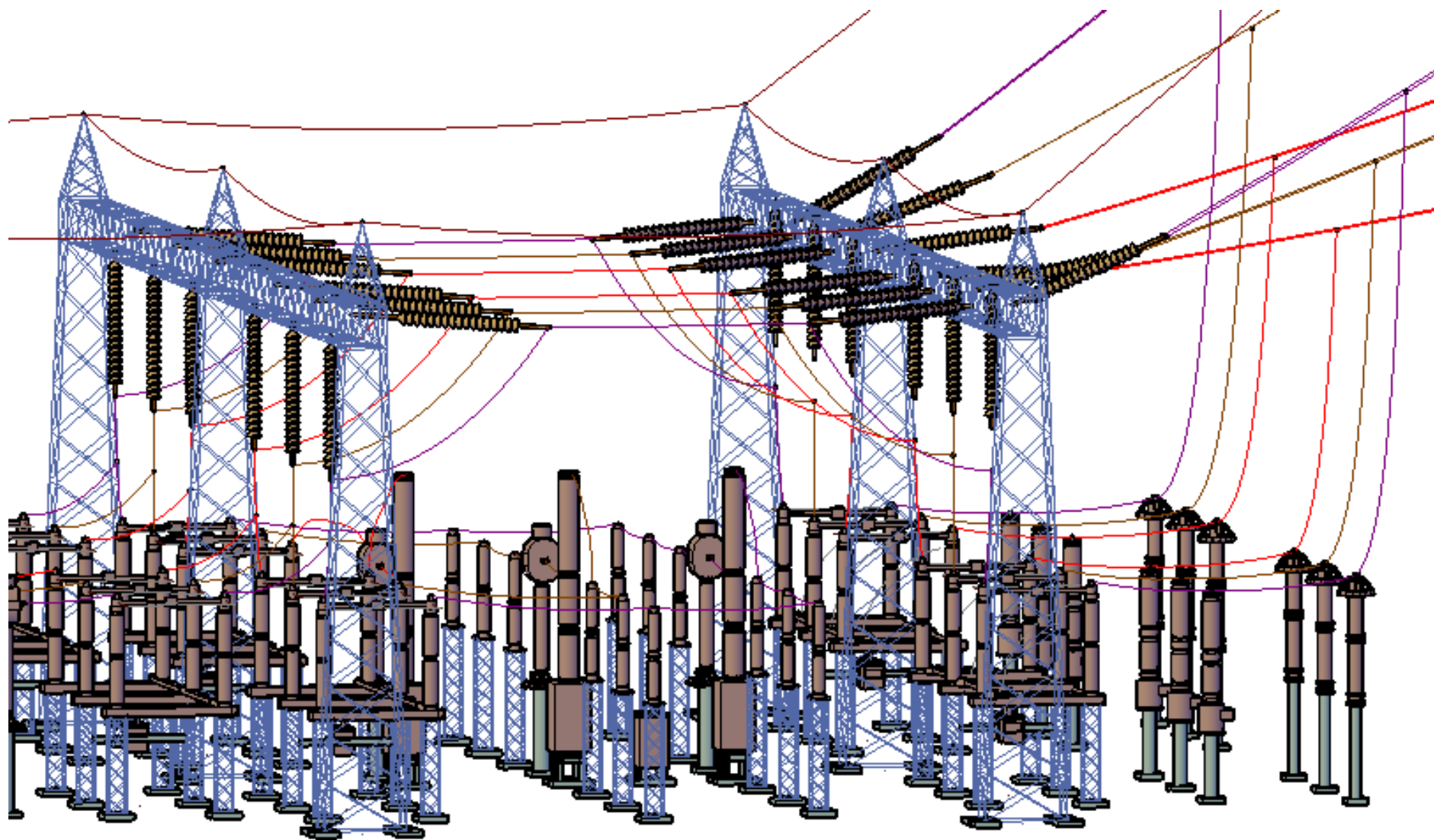


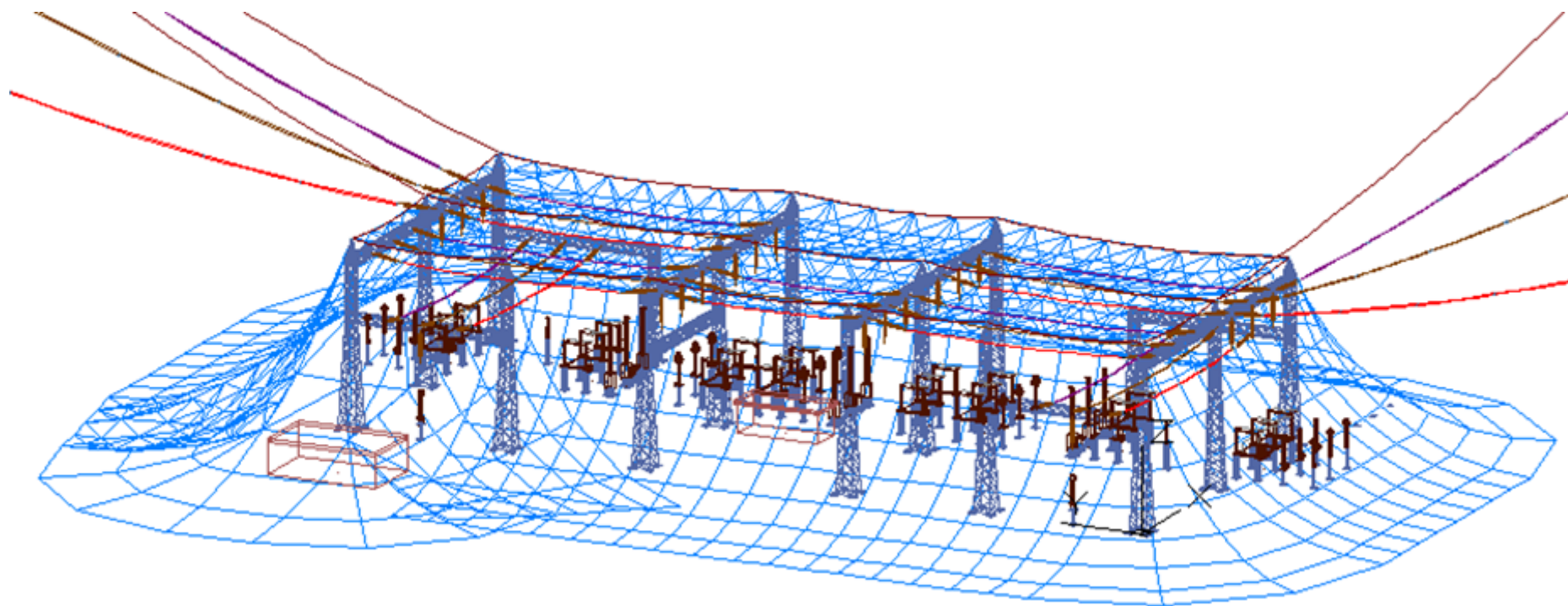


Apantallamiento

De Subestaciones contra descargas atmosféricas

Prof. Juan Bautista R. (FIEE - UNI)





Bibliografía Principal

IEEE Std 998-1996



IEEE Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations

Sponsor
Substations Committee
of the
IEEE Power Engineering Society

Approved 19 April 1996
IEEE Standards Board

Approved 11 September 1996
American National Standards Institute

Abstract: Design information for the methods historically and typically applied by substation designers to minimize direct lightning strokes to equipment and buswork within substations is provided. Two approaches, the classical empirical method and the electrogeometric model, are presented in detail. A third approach involving the use of active lightning terminals is also briefly reviewed.

Keywords: direct stroke shielding, lightning stroke protection, substations

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

345 East 47th Street, New York, NY 10017-2394

Copyright © 1996 by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

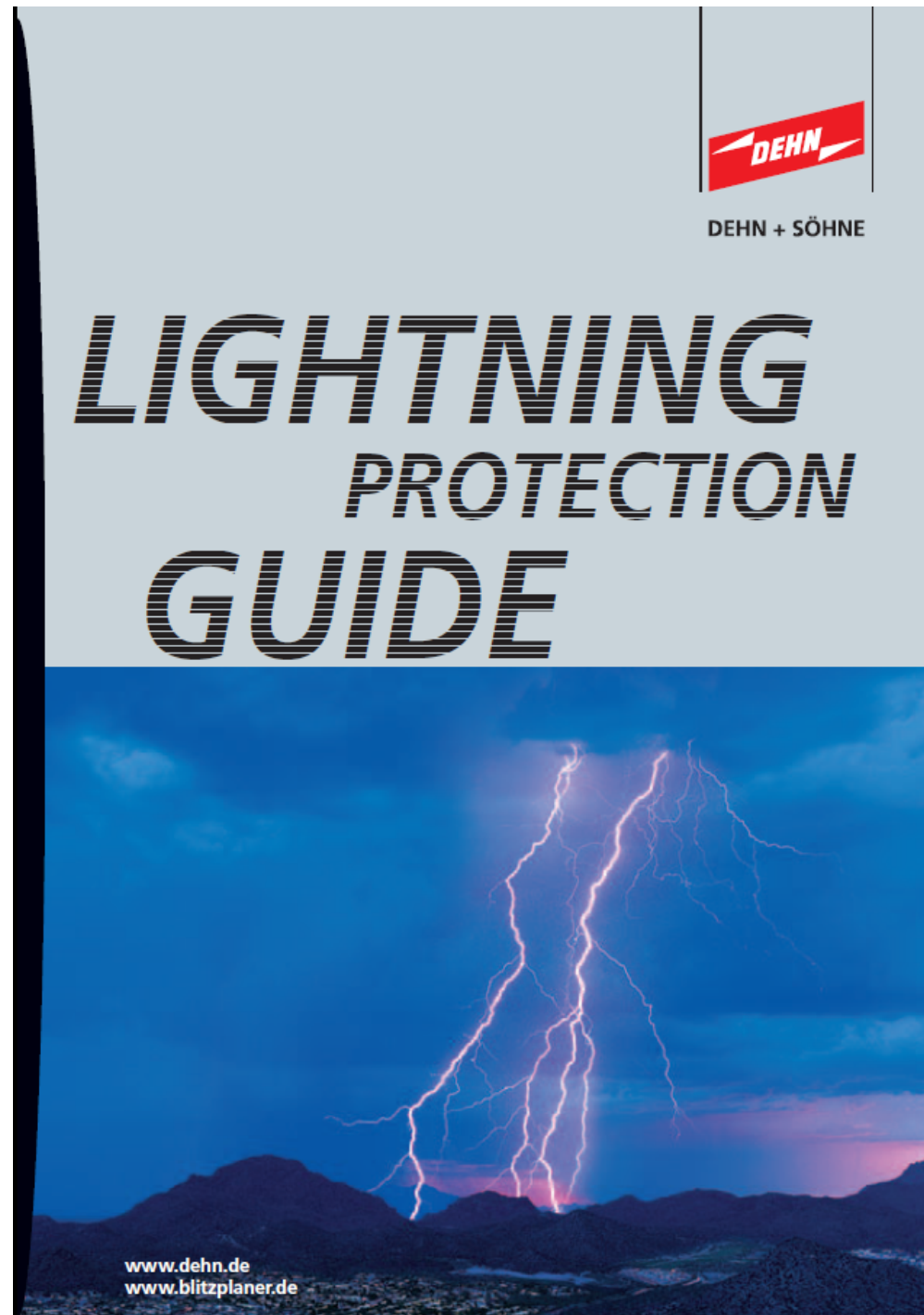
All rights reserved. Published 1996. Printed in the United States of America.

ISBN 1-55937-768-2

No part of this publication may be reproduced in any form, in an electronic retrieval or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

IEEE Std 998-1996

Bibliografía



Bibliografía



63

GUIDE TO PROCEDURES FOR ESTIMATING THE LIGHTNING PERFORMANCE OF TRANSMISSION LINES

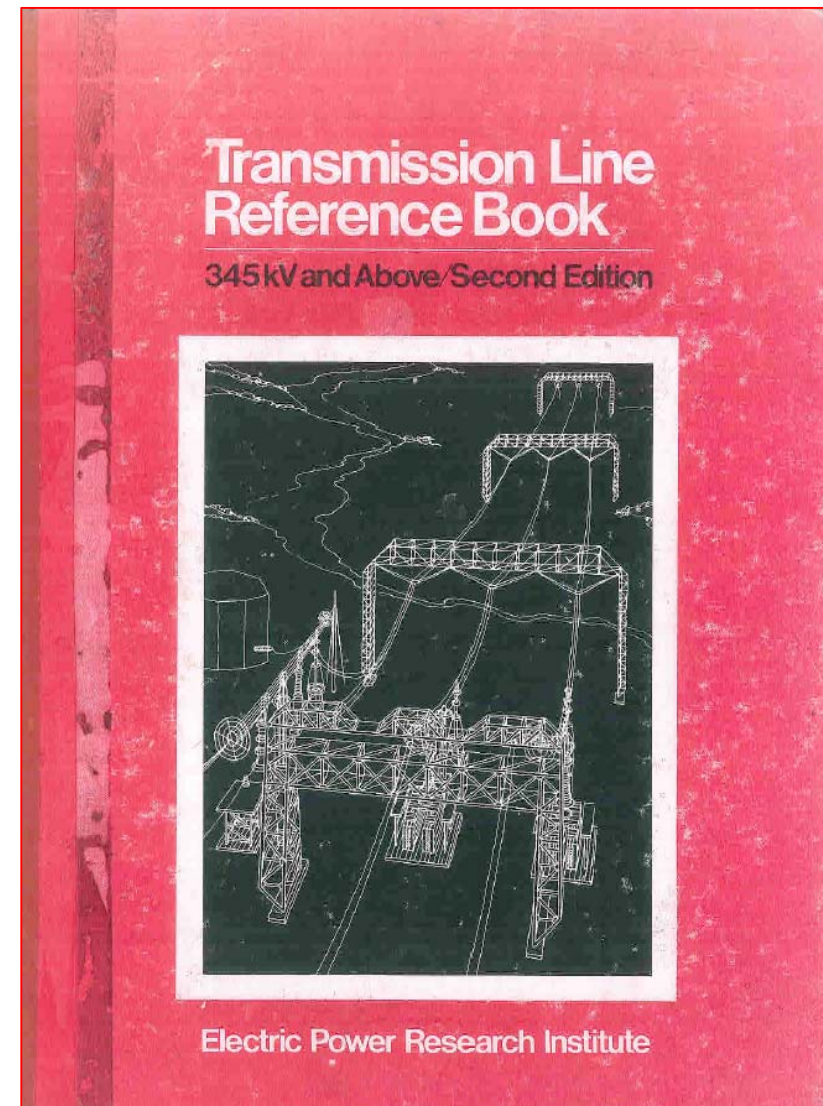
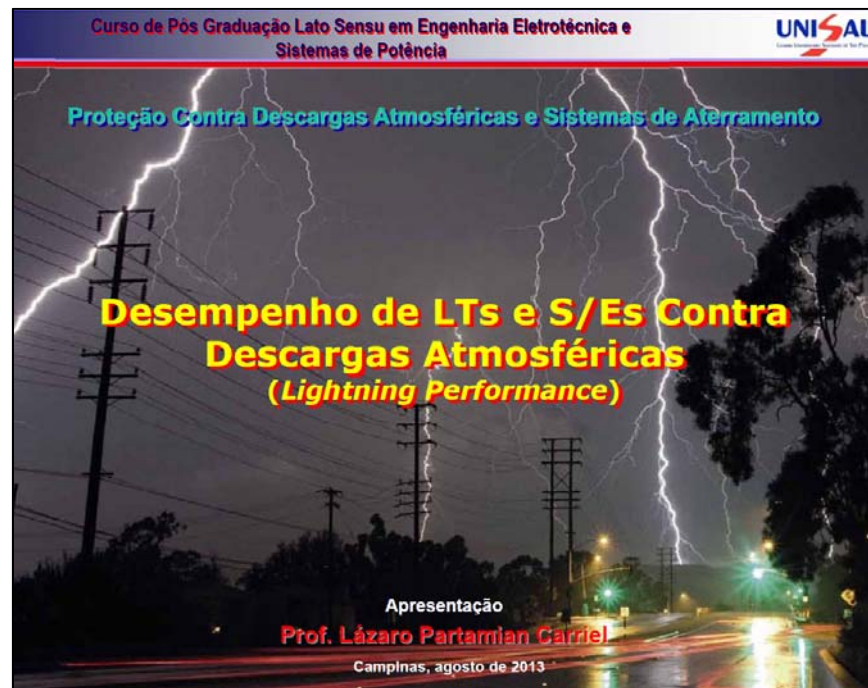
**Working Group 01 (Lightning)
of
Study Committee 33 (Overvoltages and Insulation Co-
ordination)**

October 1991





Bibliografía



Prof. Juan Bautista R. (FIEE - UNI)

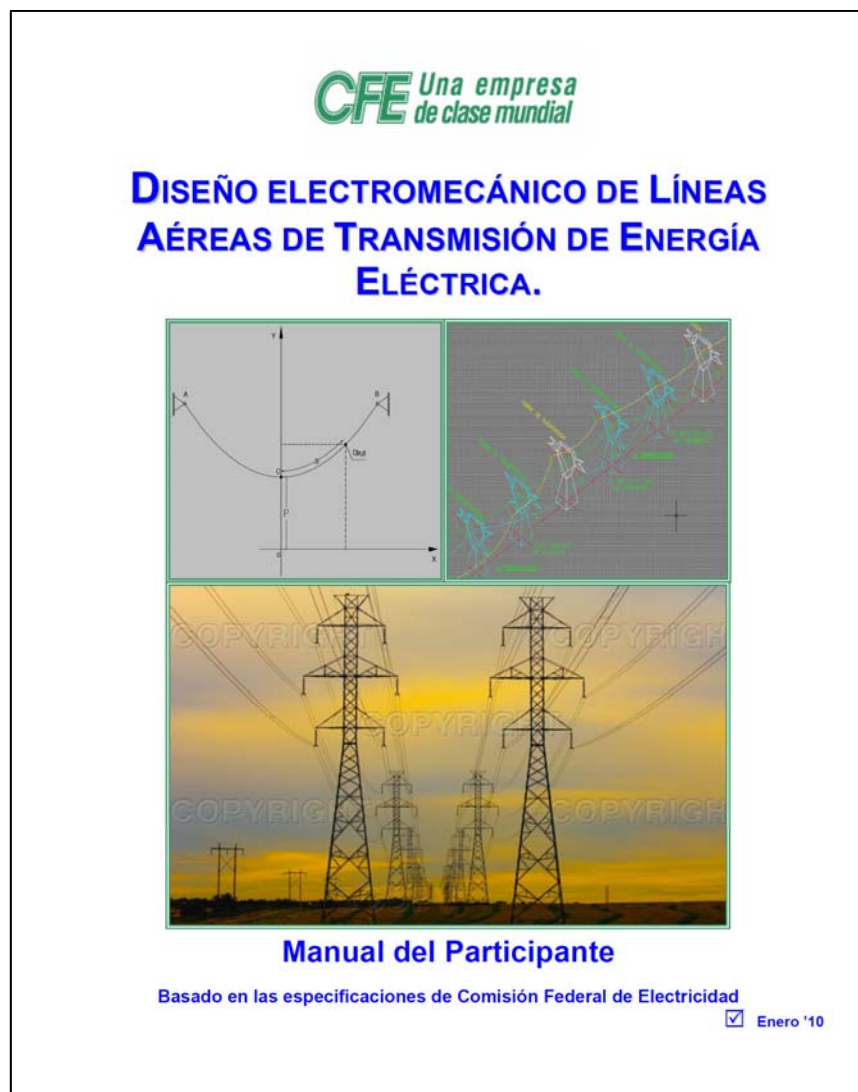
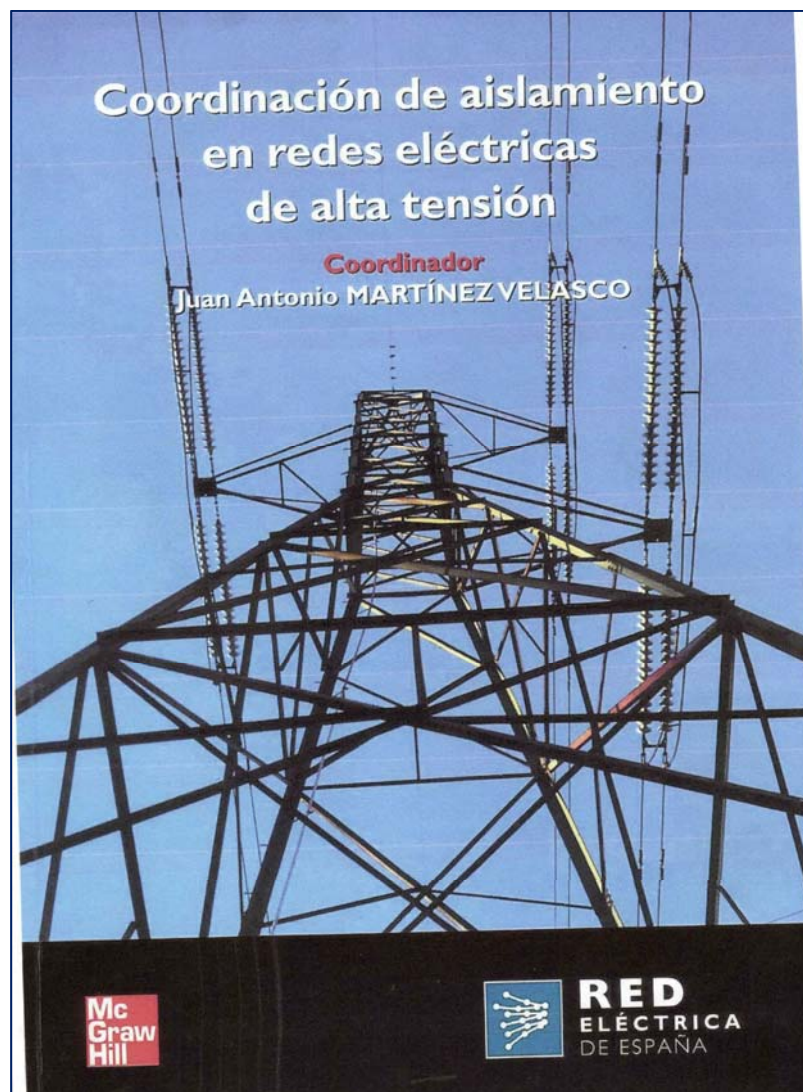


Bibliografía

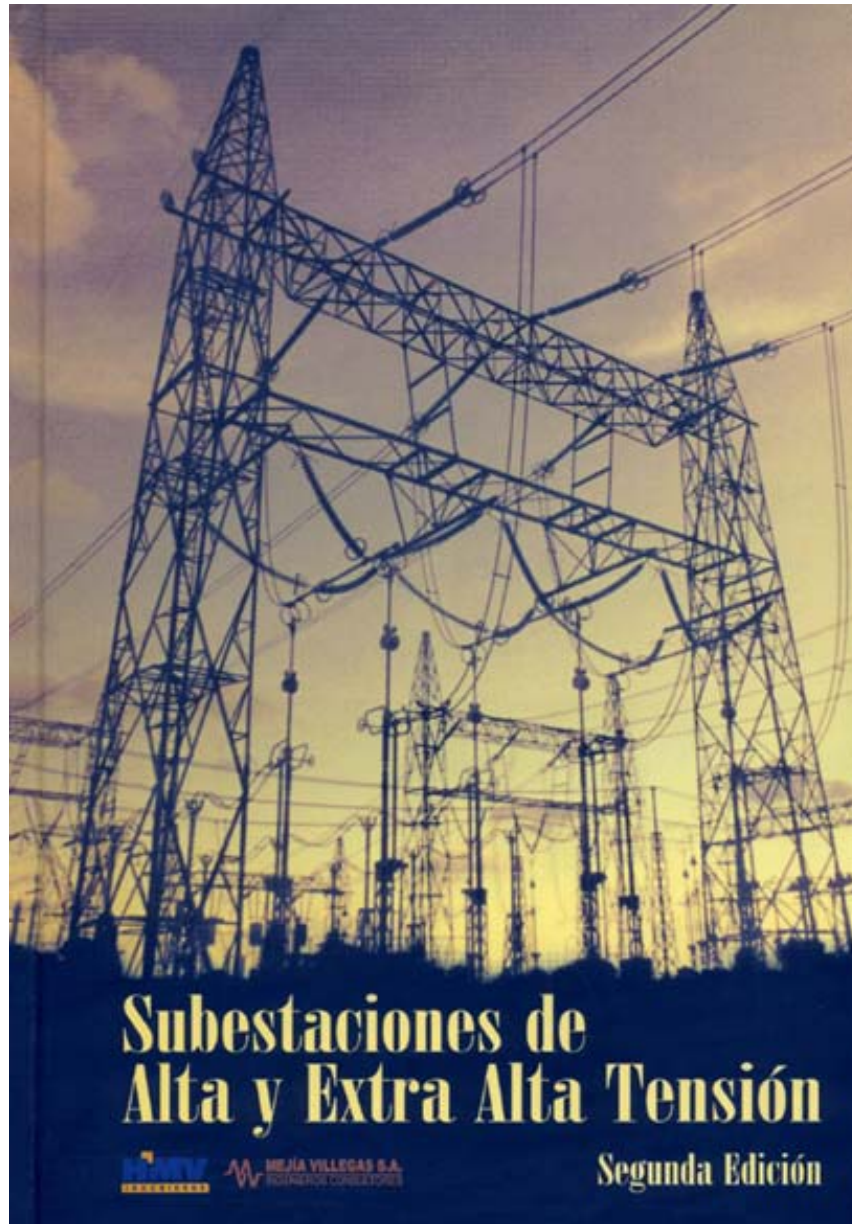
REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA "ANTONIO JOSÉ DE SUCRE" VICE-RECTORADO PUERTO ORDAZ DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA TRABAJO DE GRADO DISEÑO DE UN PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA EL CÁLCULO DE SALIDAS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS TLGO. ESTEBAN R. ROJAS V. C.I: 15.033.210 PUERTO ORDAZ, 2012 i	Ingenieros Marco Soto y Vladimir Trelles Noviembre , 2006 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL ESCUELA DE INGENIERÍA PROGRAMA DIGITAL PARA EL ESTUDIO Y SIMULACIÓN DEL CÁLCULO DE FALLAS POR APANTALLAMIENTO Y FLAMEO INVERSO EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO MARCO IVÁN SOTO LIMA WILMAN VLADIMIR TRELLES ORDÓÑEZ DIRECTOR: ING. RAUL CANELOS SALAZAR Quito, noviembre 2006
--	--



Bibliografía



Bibliografía



Prof. Juan Bautista R. (FIEE - UNI)



Introducción

Establecer criterios de diseño y procedimientos para la protección contra descargas atmosféricas en subestaciones utilizando cable de guarda de acero galvanizado.



Encendido de la descarga



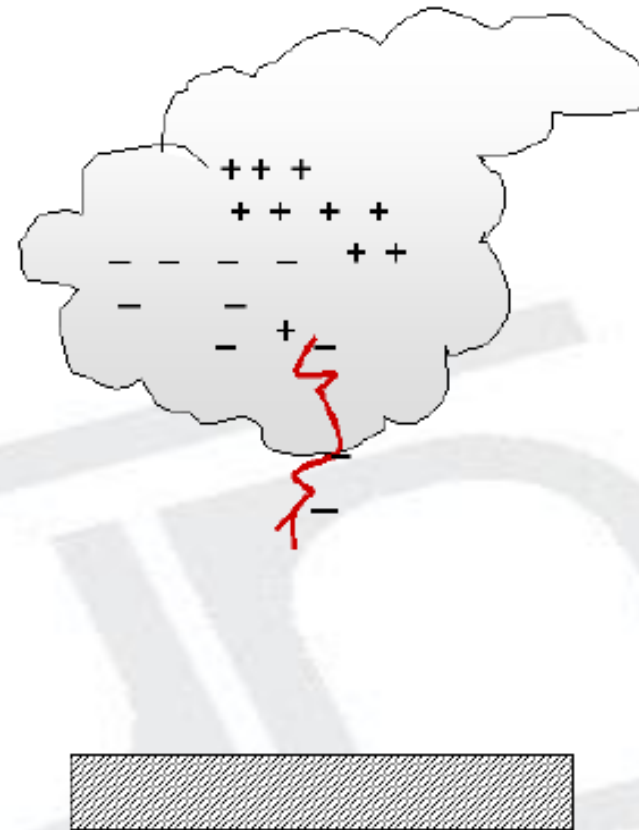
$t = 1 \text{ ms}$



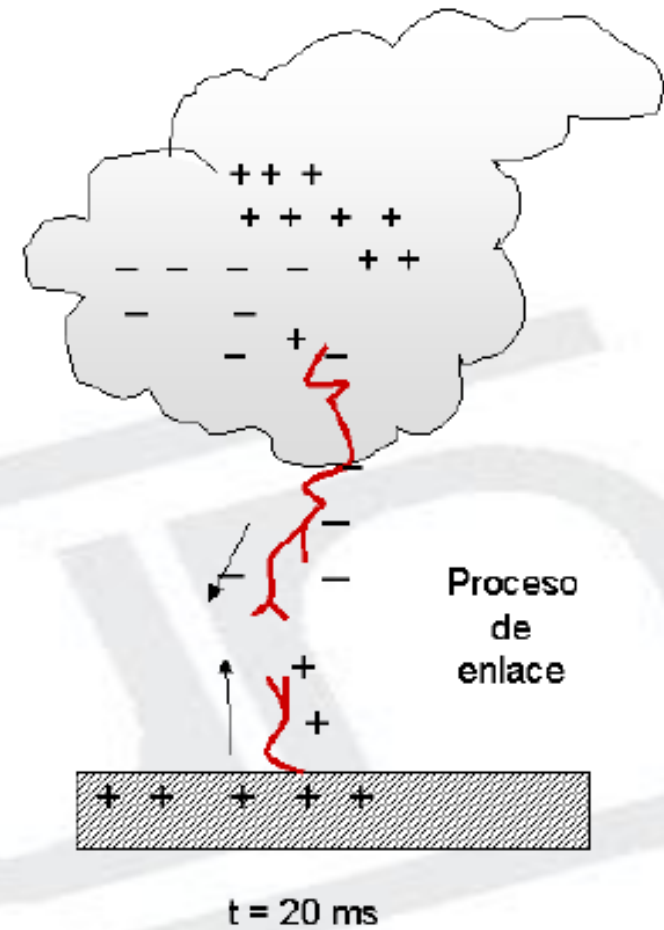
Líder escalonado

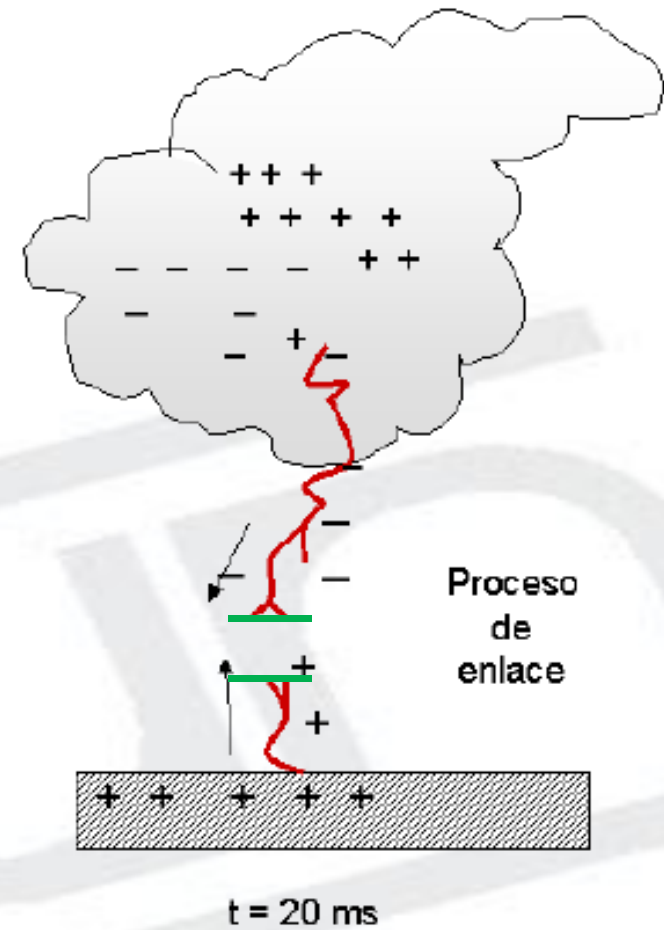


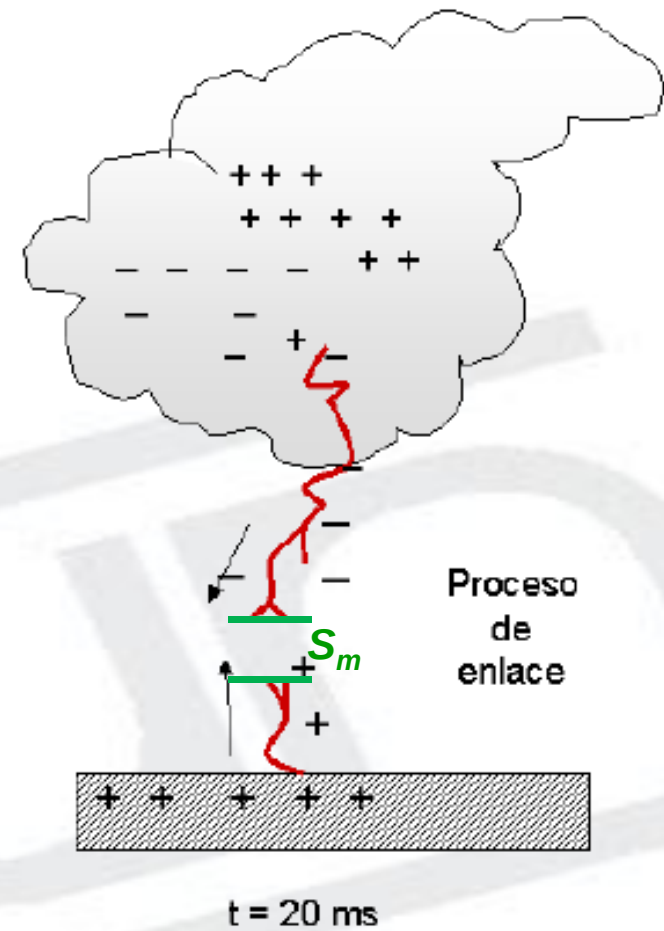
$t = 1,10 \text{ ms}$

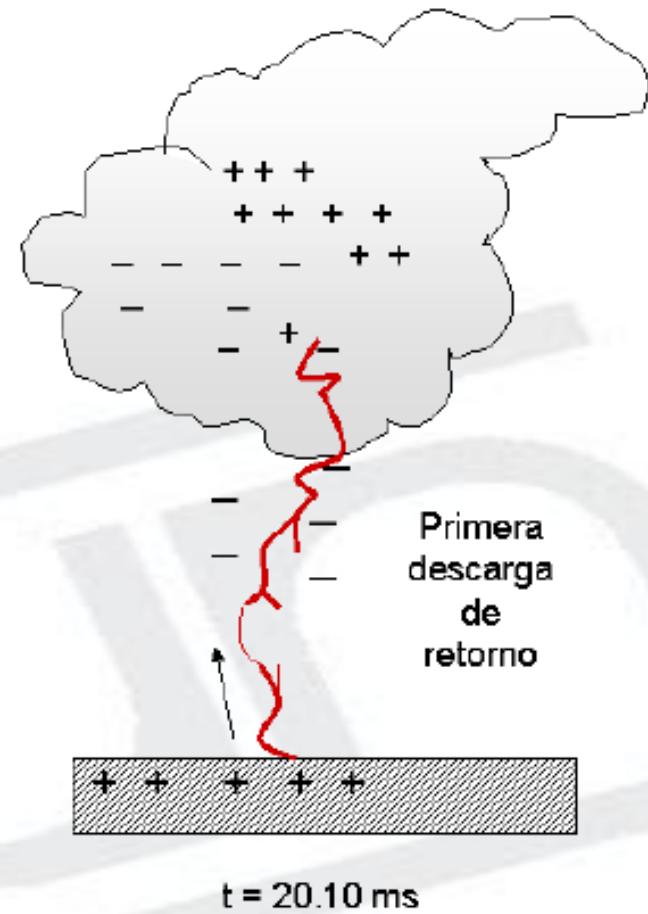


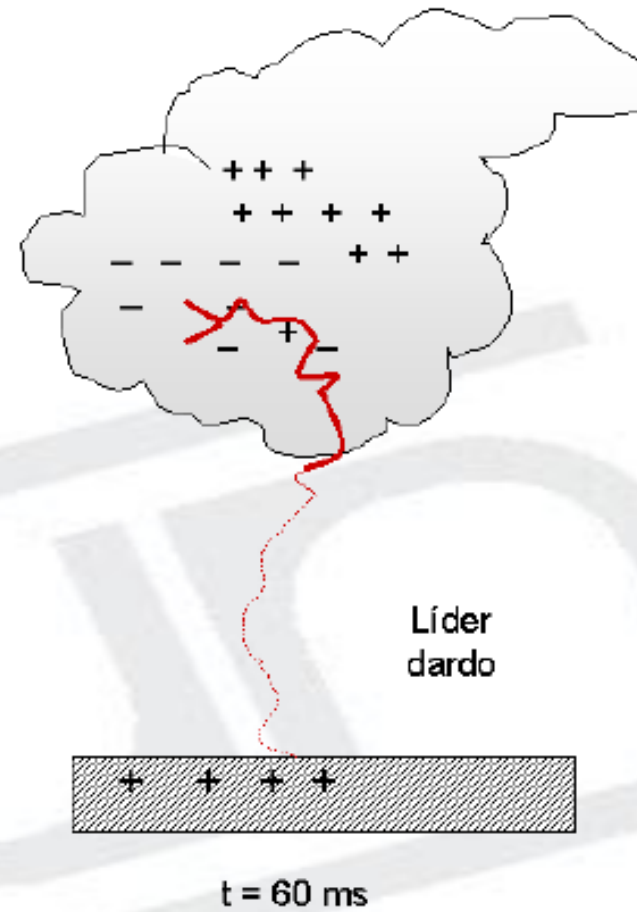
$t = 1,20 \text{ ms}$













$t = 62.05 \text{ ms}$



Prof. Juan Bautista R. (FIEE - UNI)



Prof. Juan Bautista R. (FIEE - UNI)

NORMAS DE REFERENCIA



- IEEE Std 998 (1996) “Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations”
- Switchgear Manual – 8va Edición Asea Brown Boveri.
- Subestaciones de Alta y Extra Alta tensión – Carlos Felipe Ramírez – Colombia.



Criterios de diseño

Confiabilidad.-

Está asociada a la seguridad que ofrece la subestación, por ejemplo considerar dos cables de guarda instalados de manera longitudinal en los pórticos de las barras de las subestaciones; y para los equipamientos que no tienen pórticos aledaños implementar mástiles (columna de acero reticulado).



Flexibilidad.- El sistema ha implementar puede ser extendible hacia equipos que requieran protección contra descargas atmosféricas.

Simplicidad.- El sistema adoptado es simple, castillete-grillete – cable, para facilitar la realización del montaje de los cables de protección.

Mantenimiento.- El esquema adoptado presenta facilidades de mantenimiento sin alterar ninguno de los criterios anteriormente descritos.

Alcances



Los criterios descritos se han aplicado para la determinación de las protecciones contra descargas atmosféricas para las subestaciones:

S.E. Machupicchu Nueva 220 kV.

S.E. Cotaruse Nueva 220 kV.

S.E. Mantaro Nueva 220 kV.

S.E. Mantaro Nueva 500 kV.

S.E. Caravelí.

S.E. Montalvo Nueva 500 kV.

Ampliación S.E. Montalvo.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS



Cables de Guarda

Protegen todo equipamiento ubicado a lo largo de los conductores y los equipos de la subestación.

Aprovechan los castilletes de las columnas de los pórticos superiores como estructuras soporte.

En estos cables la corriente del rayo viaja en dos direcciones con lo cual se reduce la corriente disipada por cada estructura.

Puntas →



Se emplean sobre las estructuras - pórticos
requiriendo estructura adicional.



Puntas



Cable de guarda





Puntas

Tiene tendencia a aumentar las corrientes de retorno con lo cual presenta mayores problemas de disipación de corriente.

A mayor área de la subestación resulta más costoso.

Son poco utilizados.

Mástiles



Requieren estructura propia.

Se utilizan en casos especiales en los que se requiera proteger equipos aislados que no tengan pórticos aledaños.

Tiene tendencia a aumentar las corrientes de retorno con lo cual presenta mayores problemas de disipación de corriente.



Cálculo del Apantallamiento

Son tres las metodologías de cálculo para el diseño de la protección contra descargas atmosféricas, las cuales se describen también en la norma *IEEE Std 998 (1996) "Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations"*.

- 1. Método electrogeométrico.***
- 2. Método de zona protegida.***
- 3. Método de curvas empíricas.***

Método Electrogeométrico



Descripción del método

Distancia de descarga crítica

La distancia de descarga crítica “ S_m ” corresponde al último paso previo a la descarga atmosférica para la corriente crítica. La ecuación está dada por:

Corriente crítica de flameo.

Distancia de
descarga
crítica →

$$S_m = 8kI_c^{0.65}$$

metros

Coeficiente que tiene en cuenta las diferentes distancias de descargas:

Para cables de guarda: 1.00
Para mástiles y punta pararrayos: 1.20

Corriente crítica (kA)



Es la corriente que ocasiona una sobretensión peligrosa para el aislamiento. Está dada por la siguiente expresión:

Tensión soportada al impulso tipo atmosférico del aislamiento del equipo, kVpico

Formula 1

$$I_c = \frac{2.2BIL}{Z_0}$$

Impedancia característica de las barras a proteger, Ω

Fórmula 1:

Apantallamiento que protege a barras soportadas por aisladores poste o equipos

Fórmula 2:

Apantallamiento que protege a barras soportadas por cadenas de aisladores

Tensión crítica de flameo de los aisladores, kV.

Formula 2

$$I_c = \frac{2.068CFO}{Z_0}$$

La tensión crítica de flameo (*kV*) es:



$$CFO = 0.94(585w)$$

↑
Tensión crítica de
flameo inverso de los
aisladores y explosores
(cuernos), kV.

↑
Longitud de la
cadena de
aisladores, m.

Impedancia característica (Ω)



Altura promedio del conductor, m.

$$Z_0 = 60 \sqrt{\ln \left(\frac{2h_{av}}{R_c} \right) \ln \left(\frac{2h_{av}}{r} \right)}$$

Radio corona (R_c si es un conductor simple o R'_c , si se trata de un haz), m.

Radio del cable (fases conformadas por un solo conductor) o R_o para un haz de conductores, según el caso, m.

Altura promedio (m)



La altura promedio de los cables de fase, h_{av} , se calcula como:

$$h_{av} = \frac{1}{3} h_{\max} + \frac{2}{3} h_{\min}$$

Altura de
conexión del
cable de fase,
m.

Altura a la
mitad del
vano, m.



O alternativamente:

$$h_{av} = h - \frac{2}{3} y_c$$

Flecha del vano, m.

Altura del conductor con respecto a tierra (punto de conexión) en un determinado equipo de la subestación.

Radio corona (m)



Empleando la metodología para el cálculo del radio corona presentada en el Anexo C de la IEEE Std 998 (1996) se tiene:

$$R_c \ln \left(\frac{2h_{av}}{R_c} \right) - \frac{V_c}{E_0} = 0$$

Altura promedio del conductor, m

Máxima tensión soportada por el aislamiento de los aisladores para una onda de impulso con polaridad negativa con un frente de onda de 6us, kV.

Radio corona , m

Gradiente de corona límite, se toma igual tensión a 1500 kV/m

Disc Dia. x Spacing	No. of Units		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
6" x 5 1/2"	Low-Frequency Average Flashover	Dry/kV	60	120	175	225	275	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Wet/kV	30	55	80	105	130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Critical-Impulse Average Flashover	Positive/kV	100	200	300	385	460	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Negative/kV	100	190	275	355	435	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7 1/2" x 6 3/4"	Low-Frequency Average Flashover	Dry/kV	65	130	190	245	295	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Wet/kV	35	65	95	130	165	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Critical-Impulse Average Flashover	Positive/kV	115	225	310	390	465	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Negative/kV	115	215	305	375	455	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10" x 6"	Low-Frequency Average Flashover	Dry/kV	80	145	200	250	300	345	390	440	485	530	575	615	660	700	745	785	825	865	905	945	985	1,025	1,065	1,105	1,145
		Wet/kV	50	85	125	160	200	235	270	305	340	380	415	450	485	520	555	585	615	650	680	715	745	775	805	835	865
	Critical-Impulse Average Flashover	Positive/kV	125	250	335	420	490	565	645	720	790	865	935	1,000	1,075	1,145	1,220	1,290	1,365	1,435	1,510	1,580	1,650	1,720	1,790	1,860	1,930
		Negative/kV	130	240	325	395	465	535	605	680	760	835	905	985	1,060	1,140	1,210	1,290	1,365	1,435	1,510	1,585	1,660	1,735	1,810	1,885	1,960

La solución de R_c (m) aplicando el método de Newton Raphson y tomando la solución inicial es:



$$R_c = 1.2 \times 10^{-4} V_c$$

Para el caso de un haz de conductores por fase, el radio corona (m) se ha calculado de acuerdo a la siguiente expresión:

$$R'_c = R_0 + R_c$$

↓
Radio del haz de
conductores adyacentes, m.

↓
Radio corona para
un solo conductor, m.



Haz de 02 conductores

$$R_0 = \sqrt{rl}$$

radio del
subconductor, m

distancia entre dos
conductores
adyacentes, m.

Haz de 04 conductores

$$R_0 = \sqrt[4]{\sqrt{2}rl^3}$$

En resumen:



Protección a barras fijas

$$I_c = \frac{2.2BIL}{Z_0}$$

$$S_m = 8kI_c^{0.65}$$

Protección a barras flexibles

$$I_c = \frac{2.068CFO}{Z_0}$$

$$CFO = 0.94(585w)$$

$$Z_0 = 60 \sqrt{Ln\left(\frac{2h_{av}}{R_c}\right) Ln\left(\frac{2h_{av}}{r}\right)}$$

$$h_{av} = h - \frac{2}{3}y_c$$

$$R_c = 1.2 \times 10^{-4} V_c \quad \text{01 conductor}$$

$$R'_c = R_0 + R_c$$

$$R_0 = \sqrt[4]{\sqrt{2}rl^3}$$

04 conductores

$$R_0 = \sqrt{rl}$$

02 conductores



CABLE DE GUARDA

Para las subestaciones del proyecto se ha elegido la protección contra descargas con cable de guarda, para lo cual se efectuará el cálculo para la determinación de la altura efectiva del cable de guarda y la separación entre cables de guarda en las subestaciones.

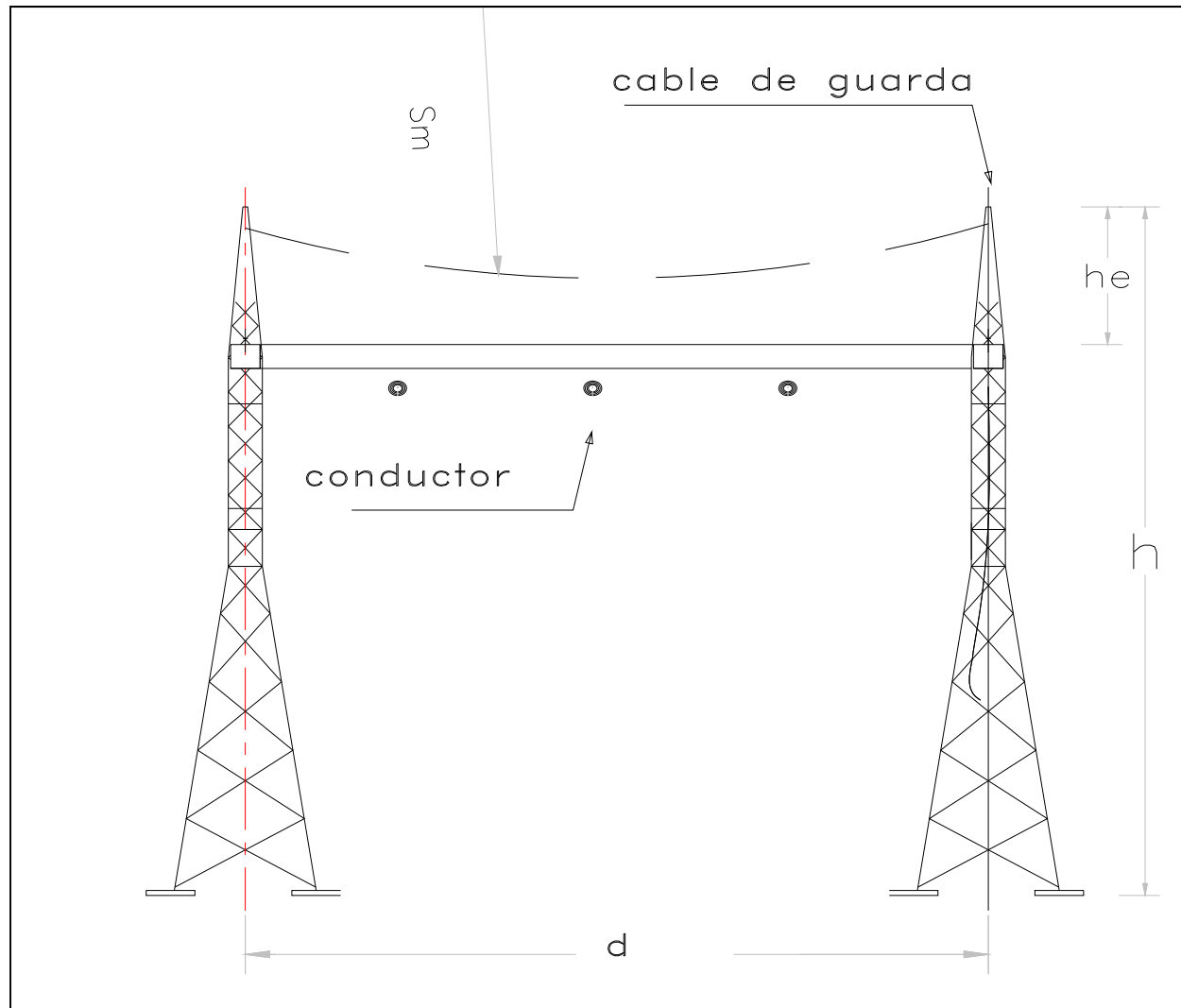
Altura efectiva del cable de guarda

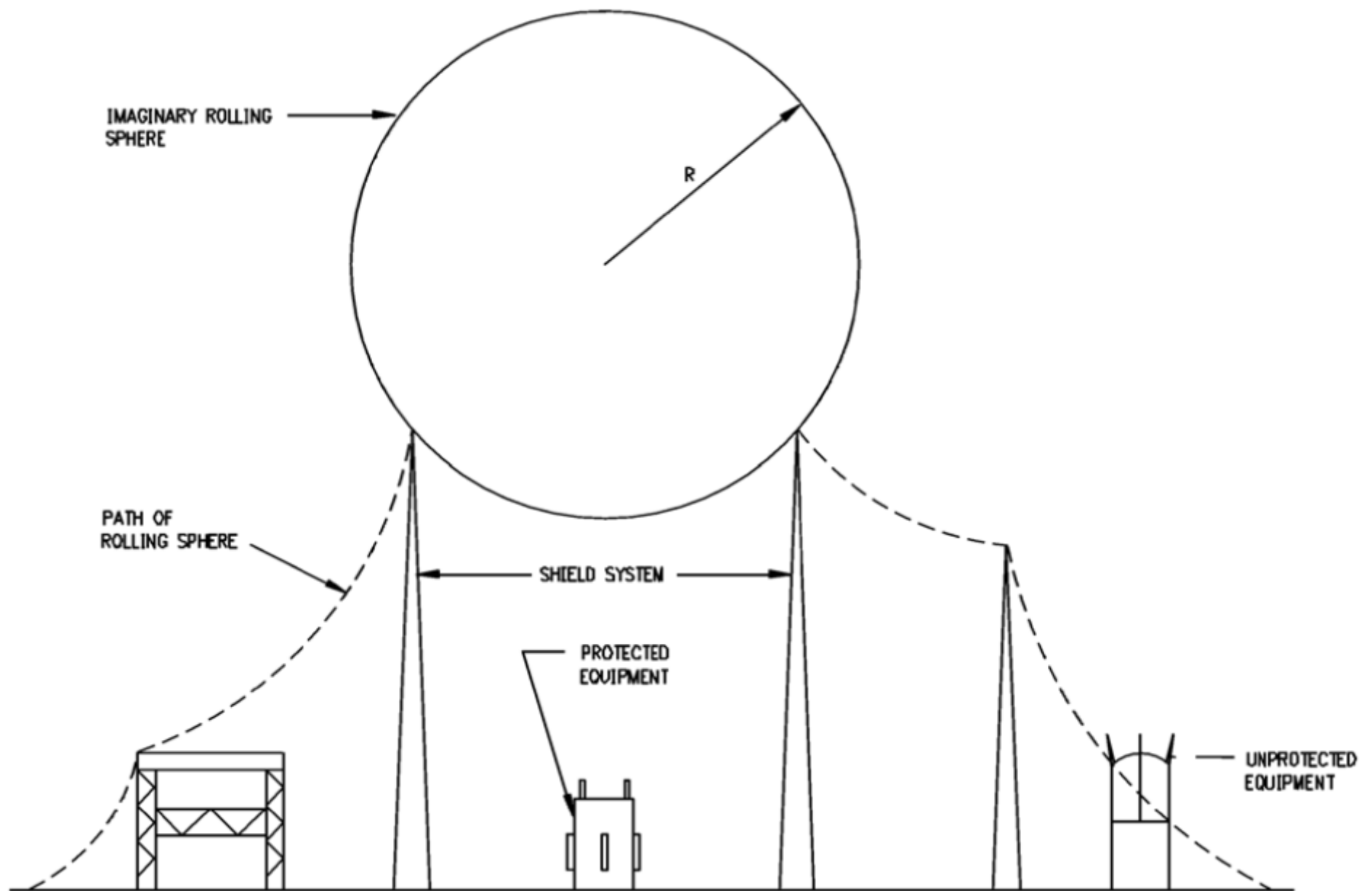
La altura efectiva del apantallamiento con cable de guarda es la altura del mismo sobre el sistema protegido, se calcula como:

$$h_e = S_m - \sqrt{S_m^2 - d^2}$$

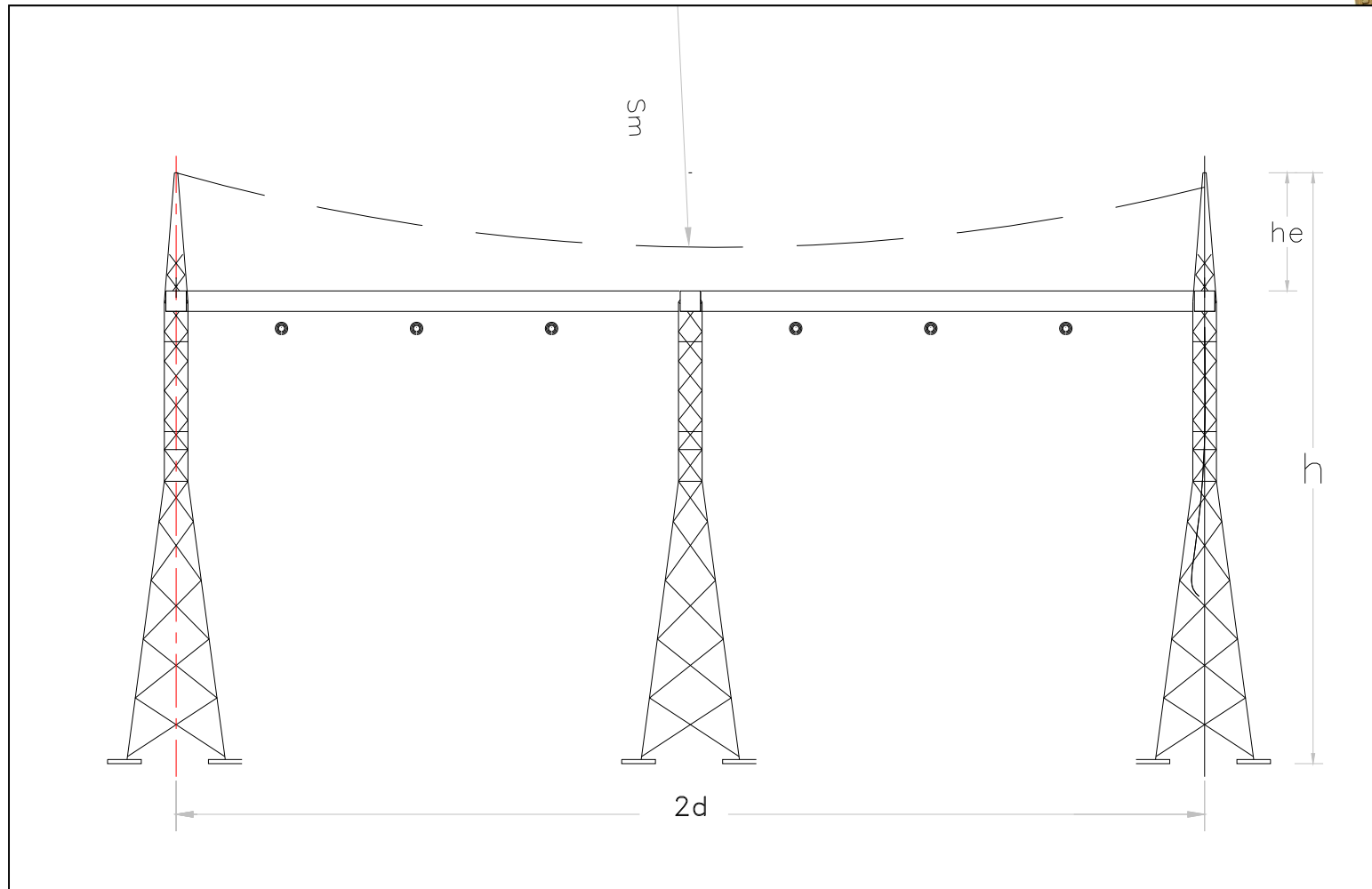
metros

Anchos de Barras para Un Campo





Anchos de Barras para Dos Campos.





Limite Práctico

El límite práctico (m) para la separación entre cables de guarda adyacentes está determinado por :

$$2d_{\max} = 1.5S_m$$

Distancia
crítica, m.

R_o = Radio del haz de conductores adyacentes, m.



CÁLCULO DE LA PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS METODO ELECTROGEOMÉTRICO

Datos

1.- S.E. Mantaro Nueva 220 kV	5.- S.E. Montalvo Nueva 500 kV	9.- S.E. Cotaruse Nueva 220 kV
2.- S.E. Mantaro Nueva 500 kV	5.- S.E. Montalvo Nueva 500 kV (220 kV)	
3.- S.E. Mantaro Nueva 500 kV (220 kV)	6.- Ampliación S.E. Montalvo	
4.- S.E. Caravelí (500 kV)	8.- S.E. Machupicchu Nueva 220 kV	

		Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9
- Tensión Nominal	kV	kV	220	550	245	550	550	245	245	245	245
- Ancho de campo	2d =	m	16	30	16	30	30	16	16	16	22.4
- Altura del pórtico	h =	m	23	35	23	35	35	23	23	23	21
- Altura del conductor respecto a tierra	H =	m	18	30	18	30	30	18	18	18	16
- Nivel de Aislamiento - BIL	kVpico	kV Bil	1050	1550	1050	1550	1550	1050	1050	1050	1300
- Longitud de cadena de aisladores	W	m	3.5	5.3	3.5	5.2	5.2	2.9	3.5	3.5	3.5
- Porcentaje de Flecha	%		4%	4%	3%	4%	4%	3%	3%	3%	3%
- Distancia entre conductores adyacentes	Lc	m	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
- Sección del Conductor de Barra ó Línea	ϕ	MCM	2 x 1750	2 x 1750	2 x 1750	2 x 1750	2 x 1750	2 x 1750	2 x 1750	2 x 1200	2 x 1200
- Radio del Conductor	r	m	0.01908	0.01908	0.01604	0.01908	0.01908	0.01604	0.01908	0.01604	0.01604



Distancia de descarga crítica

La distancia crítica S_m corresponde al último paso de de la descarga atmosférica para la corriente crítica.

$$S_m = 8 \times k \times I_C^{0,65}, (m)$$

		Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9
- Distancia Crítica	S_m	kV	28.24	34.85	28.03	34.85	34.85	28.03	28.22	28.03	32.94

Donde:

I_c	Corriente crítica de flameo
k	Coeficiente que tiene en cuenta las diferentes distancias de descargas:
a)	Para cables de guarda. 1.00
b)	Para mátilles y punta pararrayos. 1.20

Corriente crítica

Es la corriente que ocasiona una sobretensión peligrosa para el aislamiento. Esta dada por la siguiente expresión:

Formula 1

$$I_C = \frac{2,2 \times (BIL)}{Z_o}, kA$$

ó por

Formula 2

$$I_C = \frac{2,068 \times (CFO)}{Z_o}, kA$$



		Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Corriente crítica (Formula 1)	Ic	kA	6.96	9.62	6.88	9.62	9.62	6.88	6.95	6.88	8.82
Corriente crítica (Formula 2)	Ic	kA	12.00	17.00	11.86	16.68	16.68	9.82	11.98	11.86	12.28

Donde:

- Zo Impedancia característica del barraje a proteger, Ω
BIL Tensión soportada al impulso tipo atmosférico del aislamiento del equipo, kV.
CFO Tensión crítica de flameo de los aisladores, kV.

Formula 1: Apantallamiento que protege un barraje soportado por aisladores poste o equipos.

Fomula 2: Apantallamiento que protege un barraje soportado por cadenas de aisladores.

$$CFO = 0,94 \times 585 \times w, (kV)$$

		Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tensión crítica de flameo	(CFO)	kV	1924.7	2914.5	1924.7	2859.5	2859.5	1594.7	1924.7	1924.7	1924.7

Donde:

- CFO Tensión crítica de flameo inverso de los aisladores y explosores(cuernos), kV.
w Longitud de la cadena de aisladores, m.



Impedancia característica

La impedancia característica está dada por:

$$Z_o = 60 \times \sqrt{\ln\left(\frac{2h_{av}}{R_c}\right) \times \ln\left(\frac{2h_{av}}{r}\right)}, \Omega$$

Donde:

h_{av} Altura promedio del conductor, m.

r Radio del cable (fases conformadas por un solo conductor)
o R_o para un haz de conductores, según el caso, m.

R_c Radio corona (R_c si es un conductor simple o R'_c , si se trata de un haz), m.

		Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Impedancia característica	Z_o	ohm	331.789	354.435	335.72	354.435	354.435	335.72	332.2	335.72	324.1533



Altura promedio

La altura promedio de los cables de fase hav se calcula como:

Formula 3

$$h_{av} = \frac{1}{3} h_{m\acute{a}x} + \frac{2}{3} h_{m\acute{i}n}, m$$

ó
alternativamente

Formula 4

$$h_{av} = h - \frac{2}{3} y_c, m$$

Donde:

hmáx.	Altura de conexión del cable de fase, m.
hmin.	Altura a la mitad del vano, m.
Yc:	Flecha del vano, m.
h	Altura del conductor con respecto a tierra punto de conexión.

		Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Altura de conexión del cable de fase, m.	hmáx =	m	18	30	18	30	30	18	18	18	16
Altura a la mitad del vano, m.	hmin =	m	17.28	28.8	17.46	28.8	28.8	17.46	17.46	17.46	15.52
Flecha del vano, m.	Yc =	m	0.72	1.2	0.54	1.2	1.2	0.54	0.54	0.54	0.48
Altura del conductor con respecto a tierra punto de conexión.	h =	m	18	30	18	30	30	18	18	18	16
Altura promedio hav - Formula 3	hav		17.52	29.2	17.64	29.2	29.2	17.64	17.64	17.64	15.68
Altura promedio hav - Formula 4	hav		17.52	29.2	17.64	29.2	29.2	17.64	17.64	17.64	15.68



Radio Corona

Empleando la metodología para el cálculo del radio corona presentada en el Anexo C de la IEEE Std 998 (1996) se tiene :

$$R_c \times \ln \left(\frac{2h_{av}}{R_c} \right) - \frac{V_c}{E_o} = 0$$

Rc:	Radio corona , m.
hav:	Altura promedio del conductor, m.
Eo:	Gradiente de corona límite, se toma igual tensión a 1500 kV/m
Vc:	Máxima tensión soportada por el aislamiento de los aisladores para una onda de impulso con polaridad negativa con un frente de onda de 6us, kv.

La solución de Rc aplicando el método de Newton Raphson y tomando la solución inicial igual a la tensión de aislamiento (kVBIL), tenemos:

$$R_c = 1,2 \times 10^{-4} V_c, m$$



Para el caso de un haz de conductores por fase, el radio corona se cálculo como:

$$R'_c = R_o + R_c, m$$

Donde:

Rc Radio corona para un solo conductor, m.
Ro Radio del haz de conductores adyacentes, m.

$$Ro = \sqrt{r \times l_c}, m$$

haz de dos conductores

$$Ro = \sqrt[4]{\sqrt{2} \times r \times l_c^3}, m$$

haz de cuatro conductores

Donde:

r radio del subconductor, m.
Lc distancia entre dos conductores adyacentes, m.

		Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Radio del subconductor	r	m	0.01908	0.01908	0.01604	0.01908	0.01908	0.01604	0.01908	0.01604	0.01604
Distancia entre conductores adyacentes	Lc	m	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Radio corona	Rc	m	0.126	0.186	0.126	0.186	0.186	0.126	0.126	0.126	0.156
Radio del haz de conductores adyacentes	Ro	m	0.08735	0.08735	0.0801	0.08735	0.08735	0.0801	0.08735	0.0801	0.0801
Radio corona de un haz de conductores	R'c	m	0.21	0.27	0.21	0.27	0.27	0.21	0.21	0.21	0.24

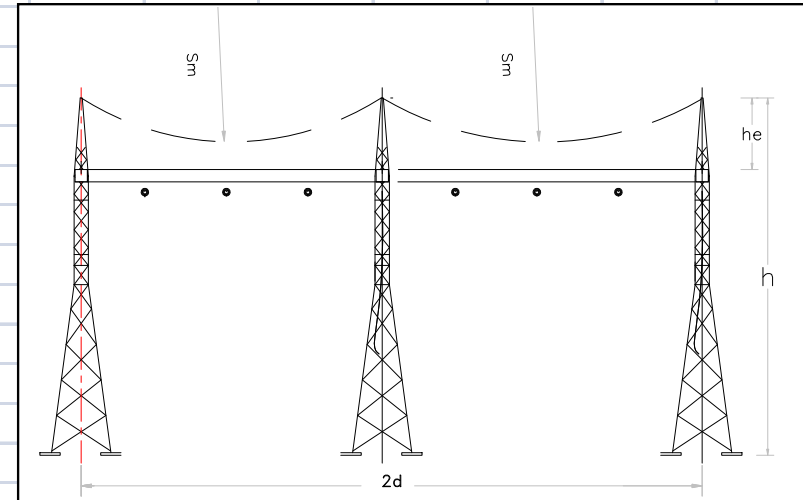
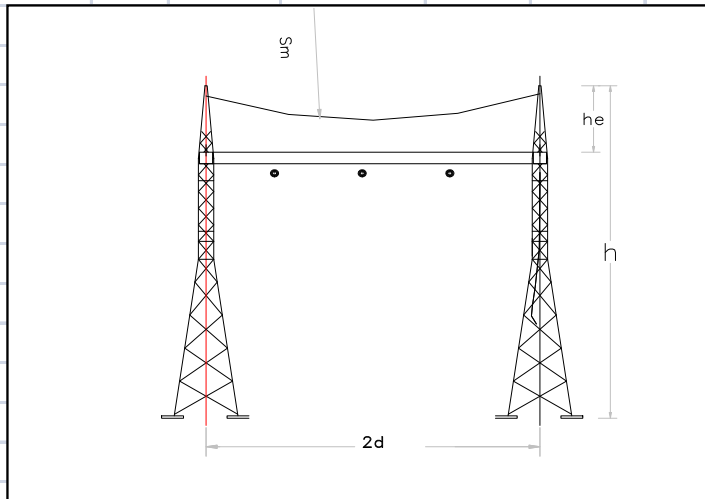
Altura efectiva del cable de guarda

La altura efectiva del apantallamiento con cable de guarda es la altura del mismo sobre el sistema protegido, se calcula como:

$$h_e = S_m - \sqrt{S_m^2 - d^2}, m$$



		Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Altura efectiva para cada campo	he	m	1.2	3.4	1.2	3.4	3.4	1.2	1.2	1.2	2.0
Altura efectiva para cada dos campos	he	m	5.0	17.1	5.0	17.1	17.1	5.0	5.0	5.0	8.8



Límite práctico para la separación entre cables de guarda adyacentes

$$2d_{\text{máx}} = 1,5 S_m, m$$

		Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Límite de separación de C.G. adyacentes	$2 d_{\text{máx}}$	m	42.4	52.3	42.0	52.3	52.3	42.0	42.3	42.0	49.4

Método de la zona protegida

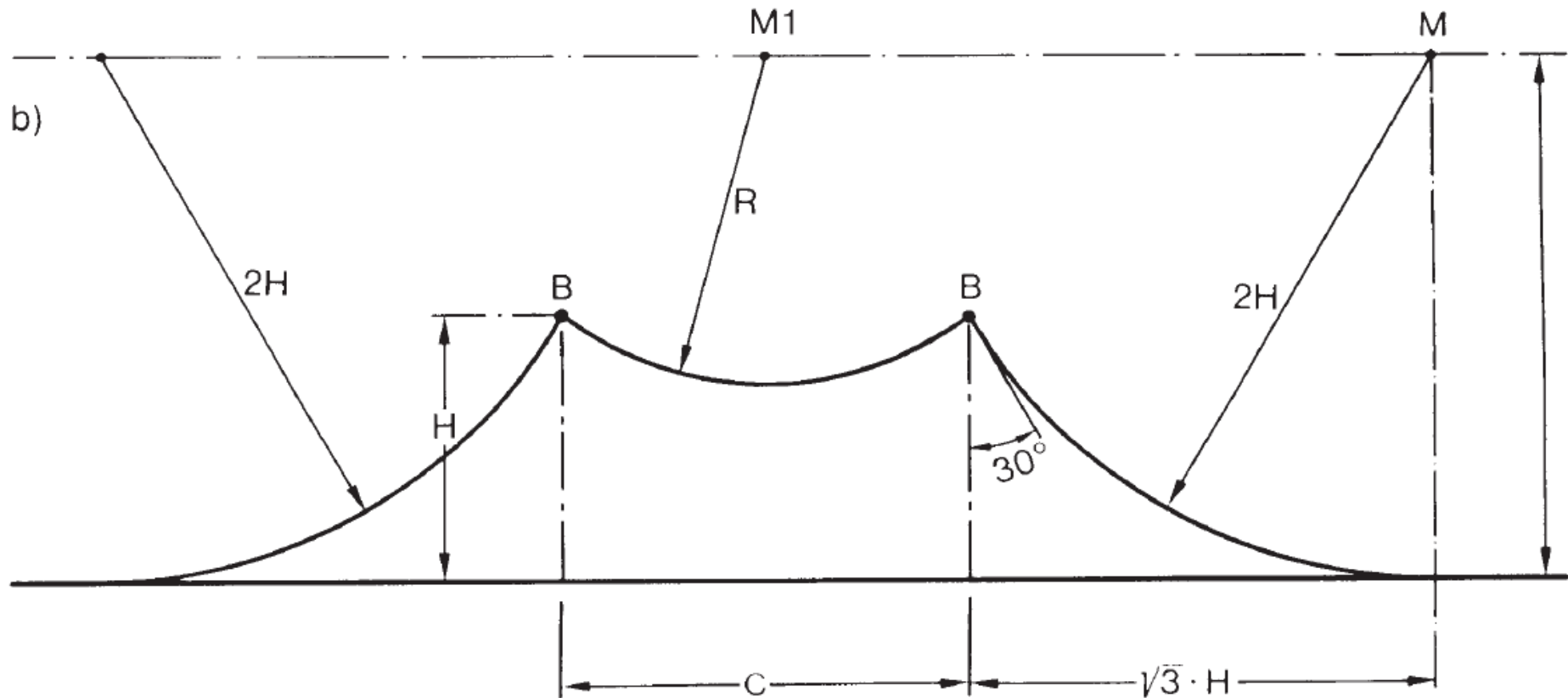


El nivel de choque es dos veces la altura de ubicación del cable de guarda y la zona protegida esta definida por la distancia R , debiendo cumplir con la siguiente ecuación (norma VDE 0141):

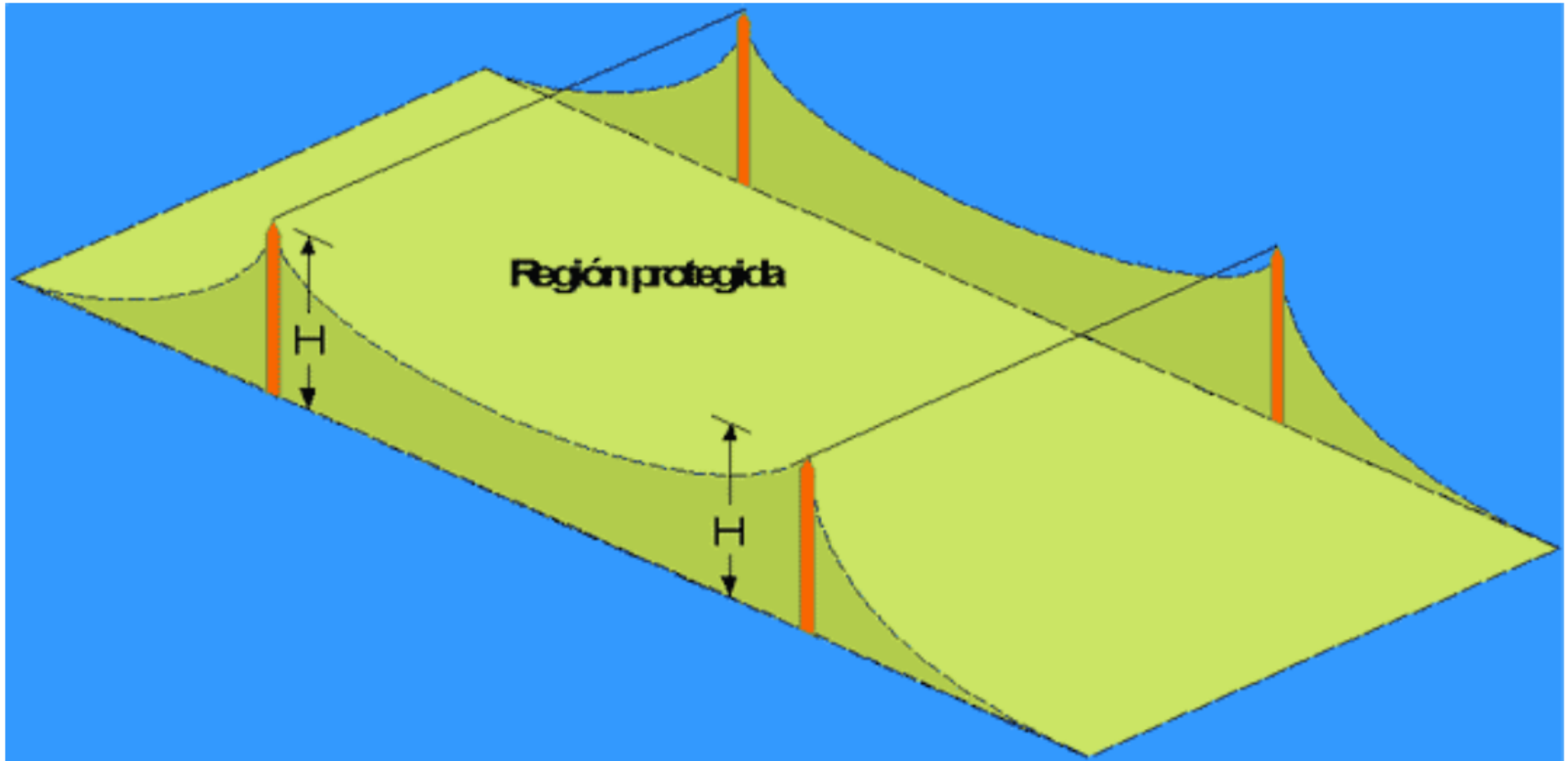
$$R^2 = \left(\frac{c}{2} \right)^2 + (H)^2$$

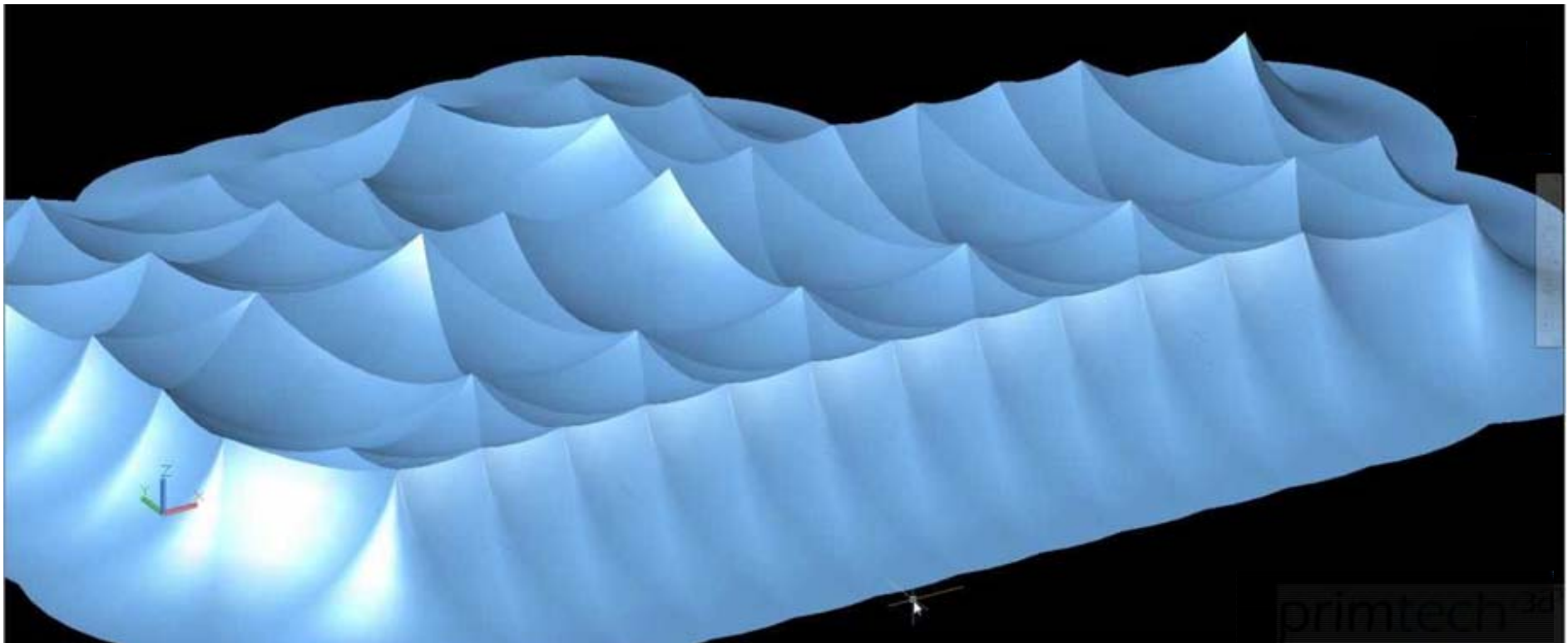


Donde : R es el radio entre M_1 y B .

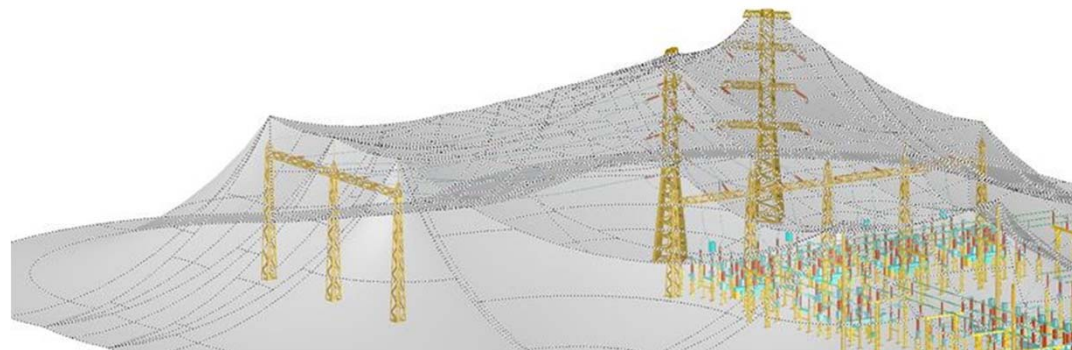
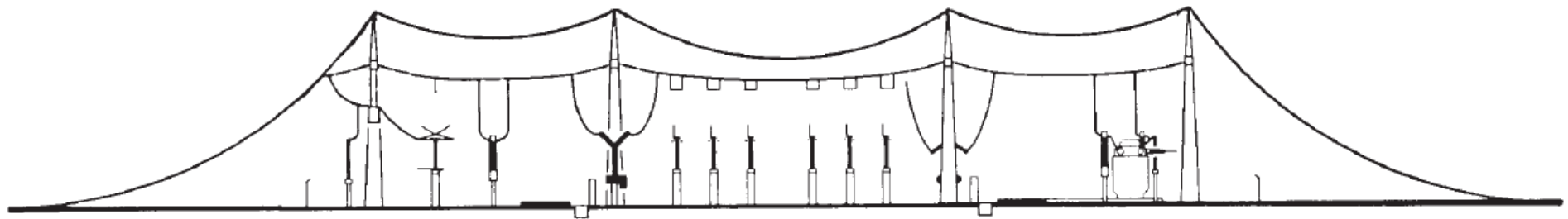
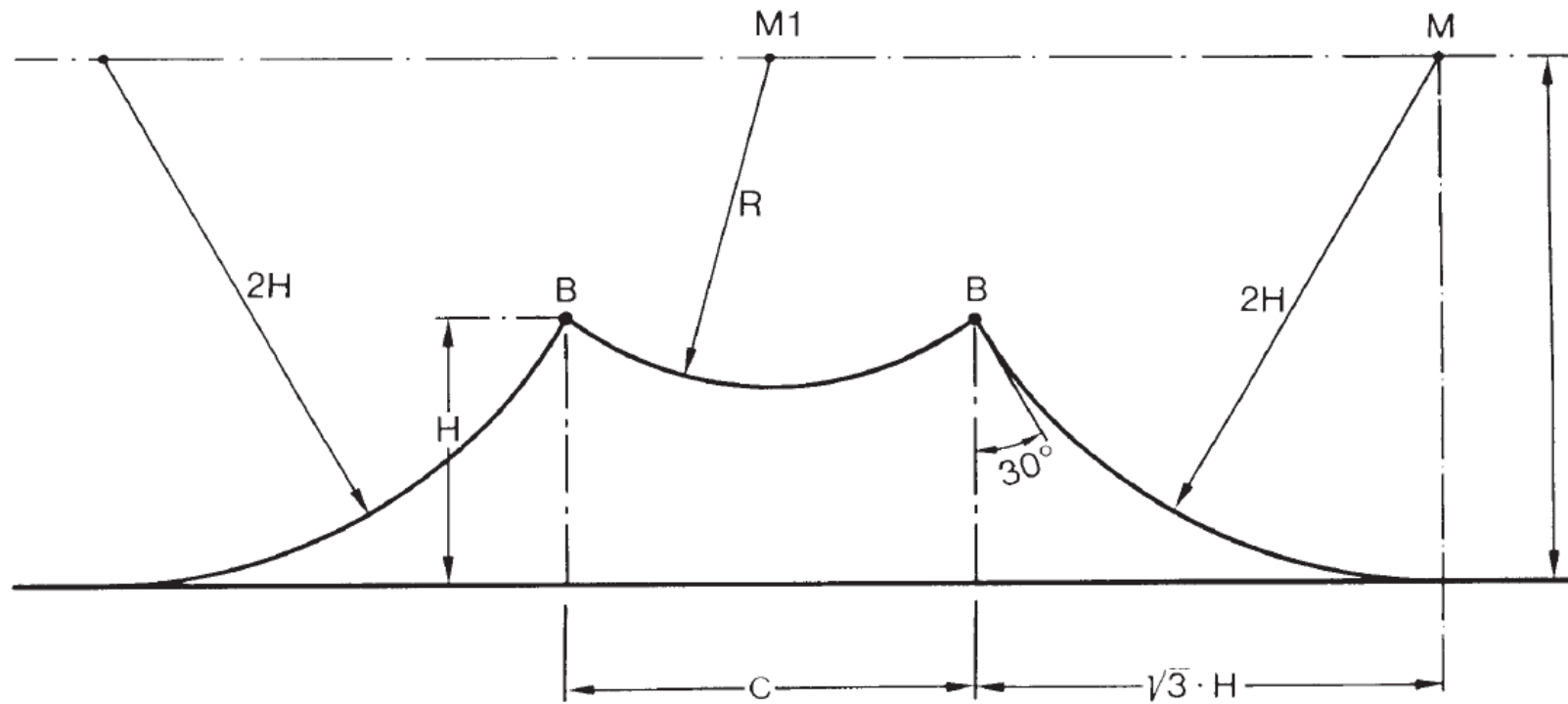


Sección de zona protegida por dos cables de guarda

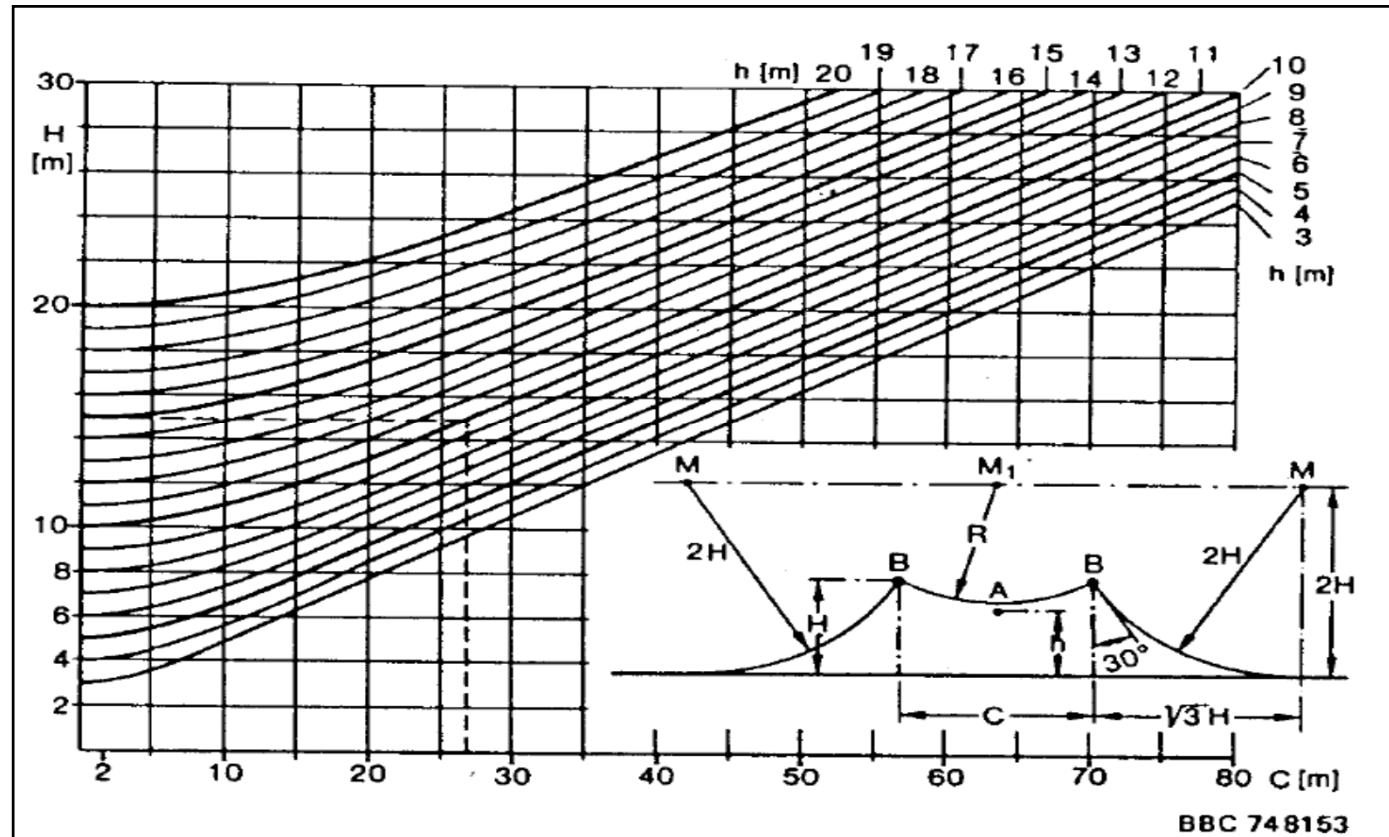




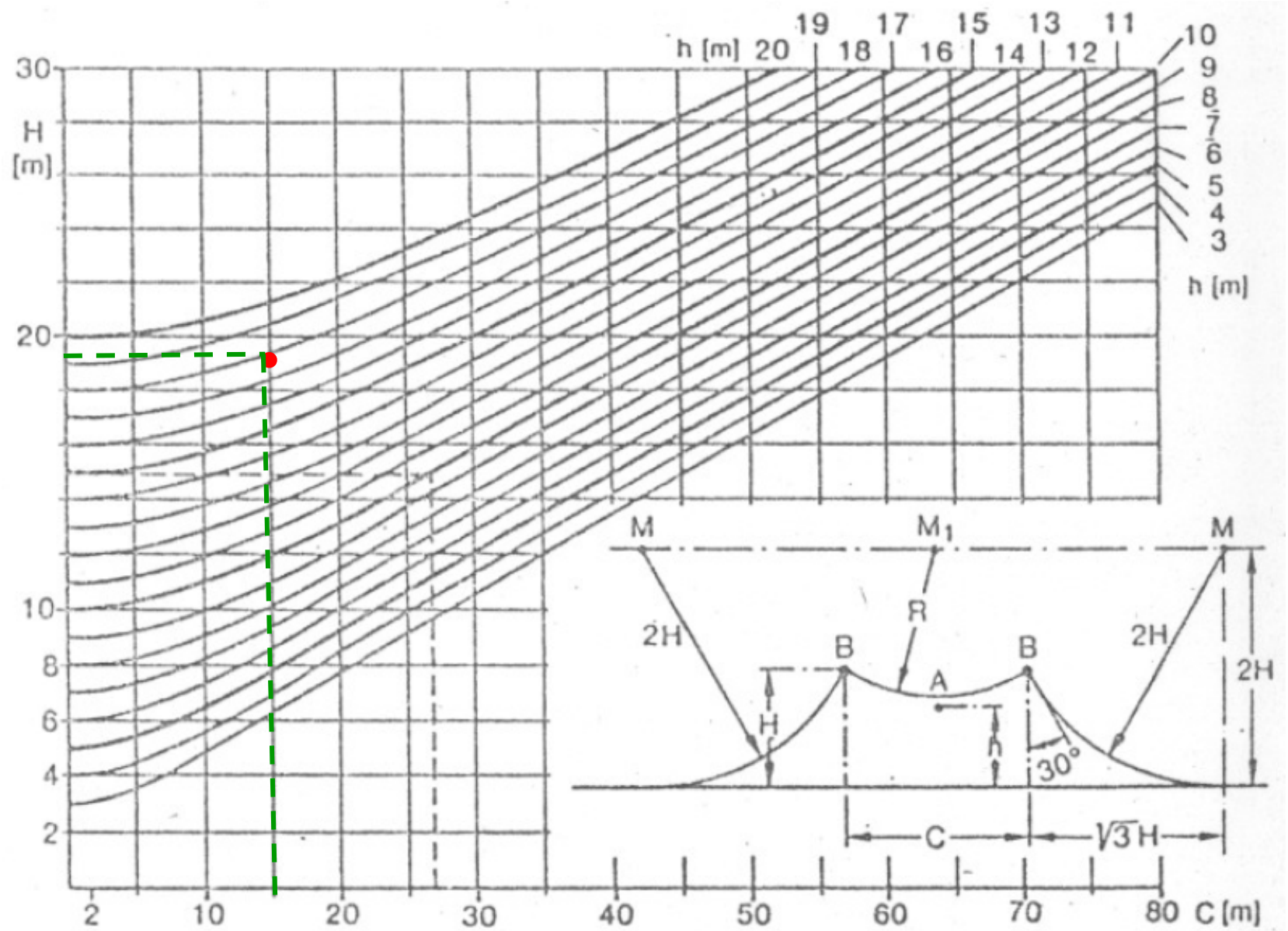
Prof. Juan Bautista R. (FIEE - UNI)



Sin embargo, se ha verificado la altura de los cables de guarda seleccionados en 220 kV de acuerdo a la siguiente gráfica para el método de zona protegida:



Los cálculos elaborados y los resultados obtenidos, se muestran para cada subestación, se muestran en los anexos del documento.



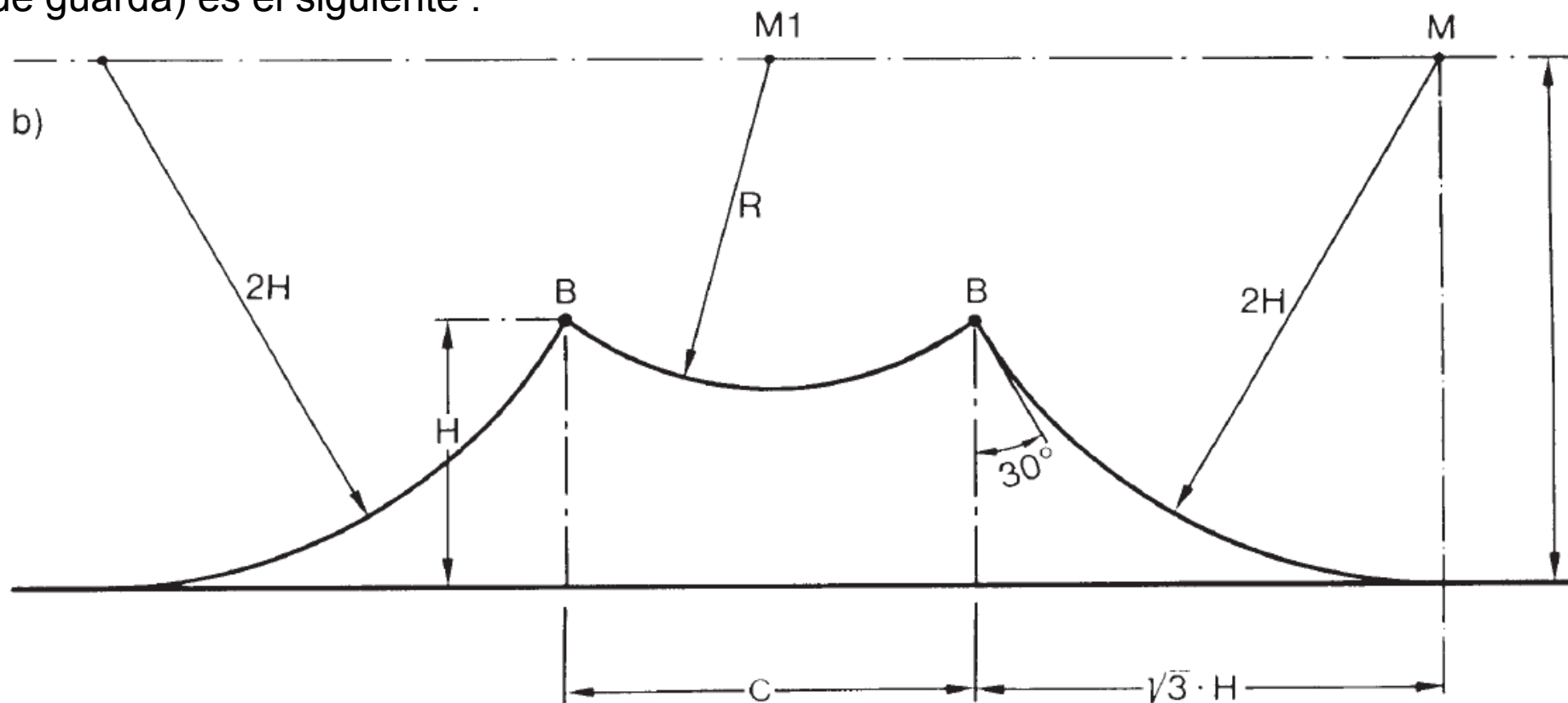


Por ejemplo:

					S.E. Mantaro Nueva 500 kV		S.E. Caraveli	S.E. Montalvo Nueva 500 kV		Ampliación S.E. Montalvo	S.E. Machupicchu Nueva 220 kV	S.E. Cotaruse Nueva 220 kV
Tensión Nominal (kV)					500	220	500	500	220	220	220	220
Tensión Máxima (kV)					550	245	550	550	245	245	245	245
Distancia entre cables de guarda (m)				C	30	16	30	30	16	16	16	22.4
Altura del conductor respecto a tierra (m)				h	30	18	30	30	18	18	18	16
Altura del cable de guarda (m)				H	35	23	35	35	23	23	23	21



El esquema utilizado generalmente para todas las subestaciones (con dos cables de guarda) es el siguiente :



R se determina a partir de:

$$R^2 = \left(\frac{C}{2} \right)^2 + (H)^2$$



Resolviendo la ecuación para todas las subestaciones se tienen los siguientes valores para R (m) :												
					S.E. Mantaro Nueva 500 kV		S.E. Caraveli	S.E. Montalvo Nueva 500 kV		Ampliación S.E. Montalvo	S.E. Machupicchu Nueva 220 kV	S.E. Cotaruse Nueva 220 kV
Tensión Nominal (kV)					500	220	500	500	220	220	220	220
				R (m)	52.15	32.47	52.15	52.15	32.47	32.47	32.47	30.60

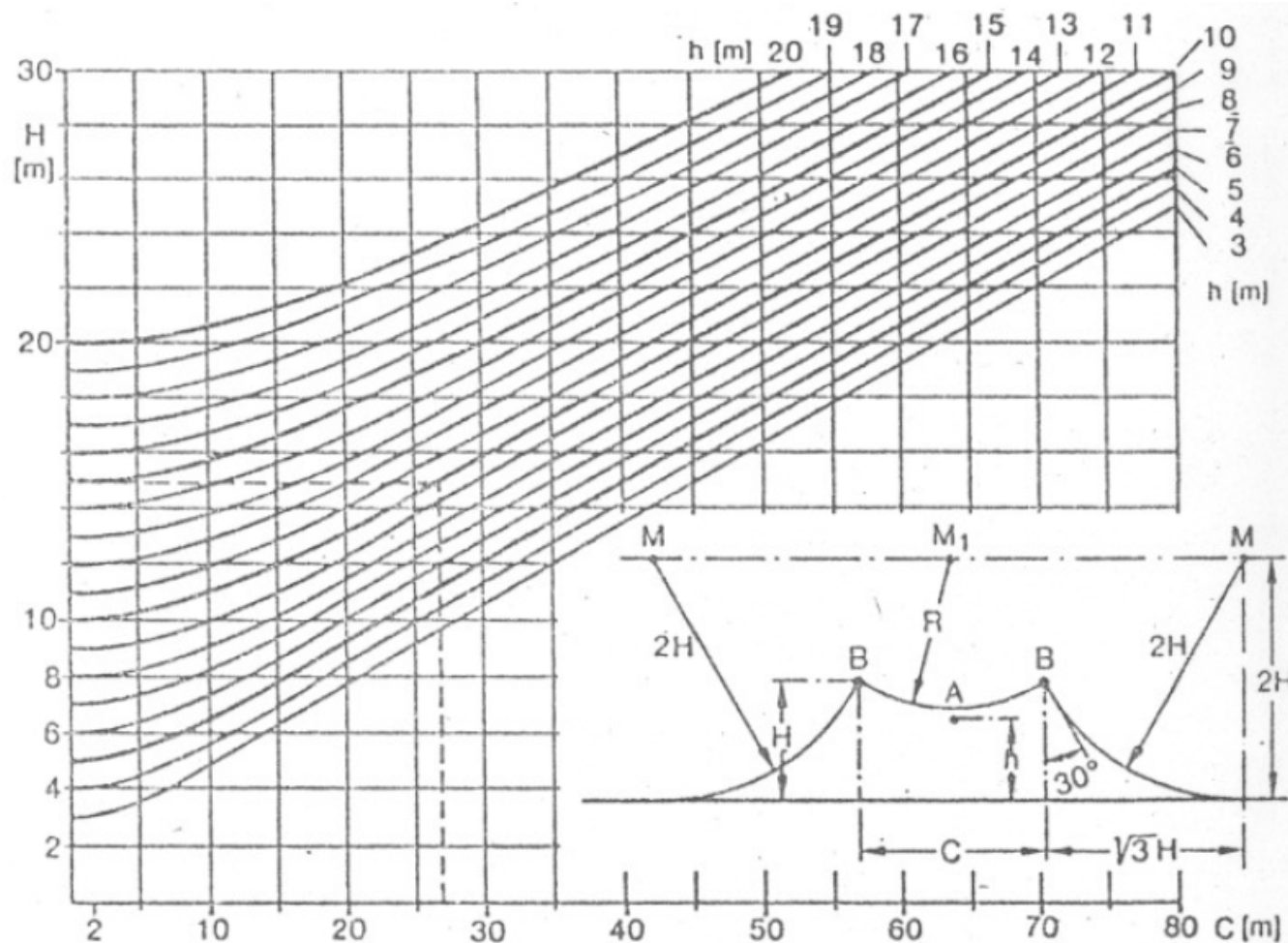
Caso Práctico - Norma VDE 0141



Para efectos prácticos, la norma VDE 0141 muestra una gráfica para conductores o barras de una altura máxima de 20 m.

Se ha utilizado la gráfica mostrada para poder verificar las alturas de los cables de guarda seleccionados.

A continuación se muestra la gráfica y el valor seleccionado para la altura efectiva del cable de guarda





La gráfica mostrada se ha utilizado para verificar la protección contra descargas atmosféricas en las subestaciones en 220 kV.												
					S.E. Mantaro Nueva 500 kV			S.E. Montalvo Nueva 500 kV		Ampliación S.E. Montalvo	S.E. Machupicchu Nueva 220 kV	S.E. Cotaruse Nueva 220 kV
Tensión Nominal (kV)						220			220	220	220	220
Altura del conductor respecto a tierra (m)				h		18			18	18	18	16
Distancia entre cables de guarda (m)				C		16			16	16	16	22.4
h obtenida de la gráfica				h cálc.		20			20	20	20	18
Altura del cable de guarda seleccionado (m)				H		23			23	23	23	21
Comparación entre h calculado y h seleccionado						118%			118%	118%	118%	117%



Método de las Curvas Empíricas



Introducción

Metodología desarrollada por Wagner en 1941 [IEEE Std 998 (1996)].

Las curvas fueron realizadas con base en datos estadísticos que relacionan las dimensiones de la subestación con un nivel de exposición o porcentaje de rayos no apantallados efectivamente P_e .

Las curvas fueron obtenidas después de haber experimentado el método electrogeométrico en subestaciones a escala, aplicando electrodos simuladores de descargas.

Procedimiento



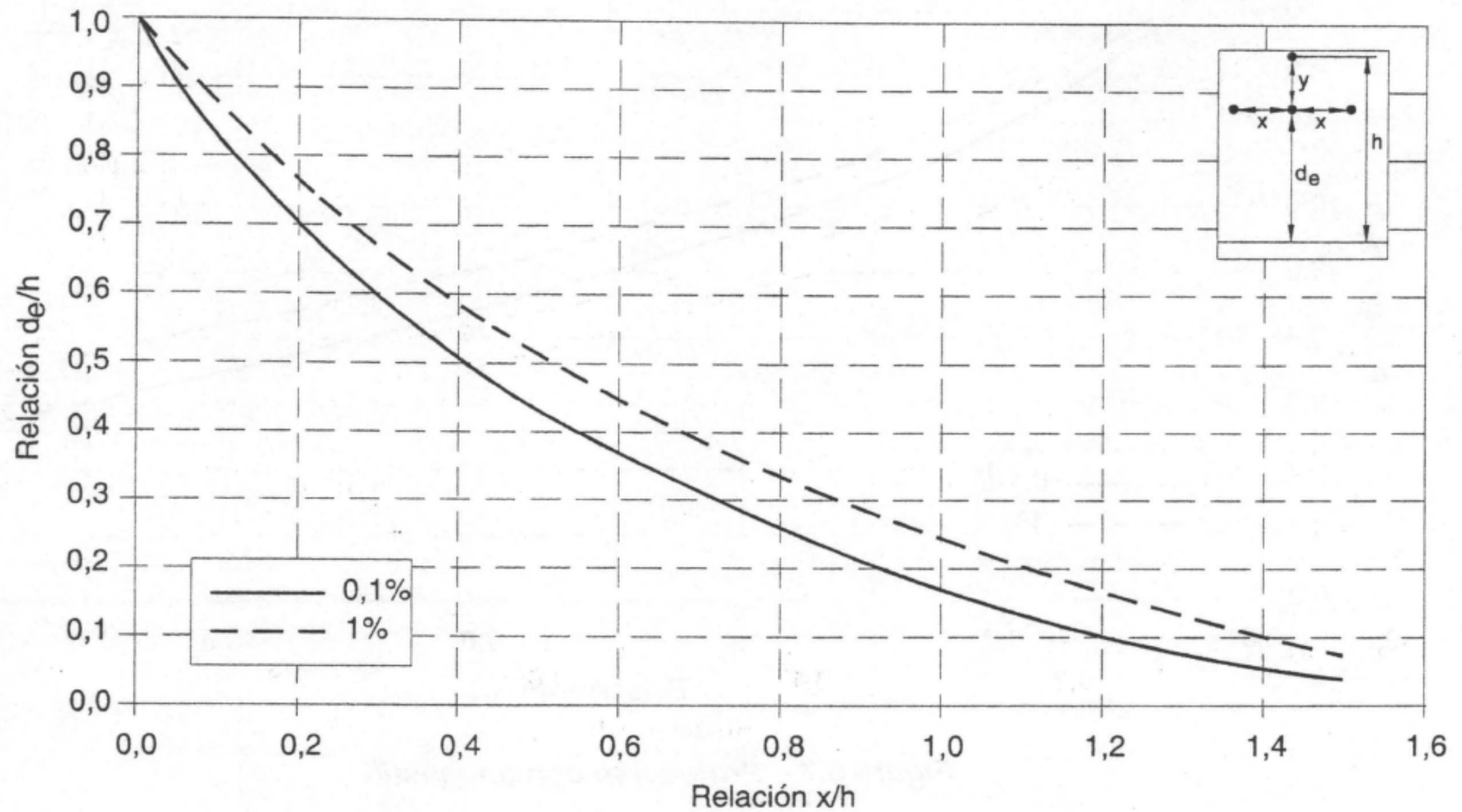
Seleccionar un nivel de exposición P_e (Se ha elegido la curva correspondiente a 0,1 %)

Determinar la altura de cables, equipos o estructuras a proteger, d_e , y el ancho del campo o barraje, S , o la distancia horizontal desde el mástil o cable de guarda hasta el equipo a proteger, x , según sea el caso (tipo apantallamiento)

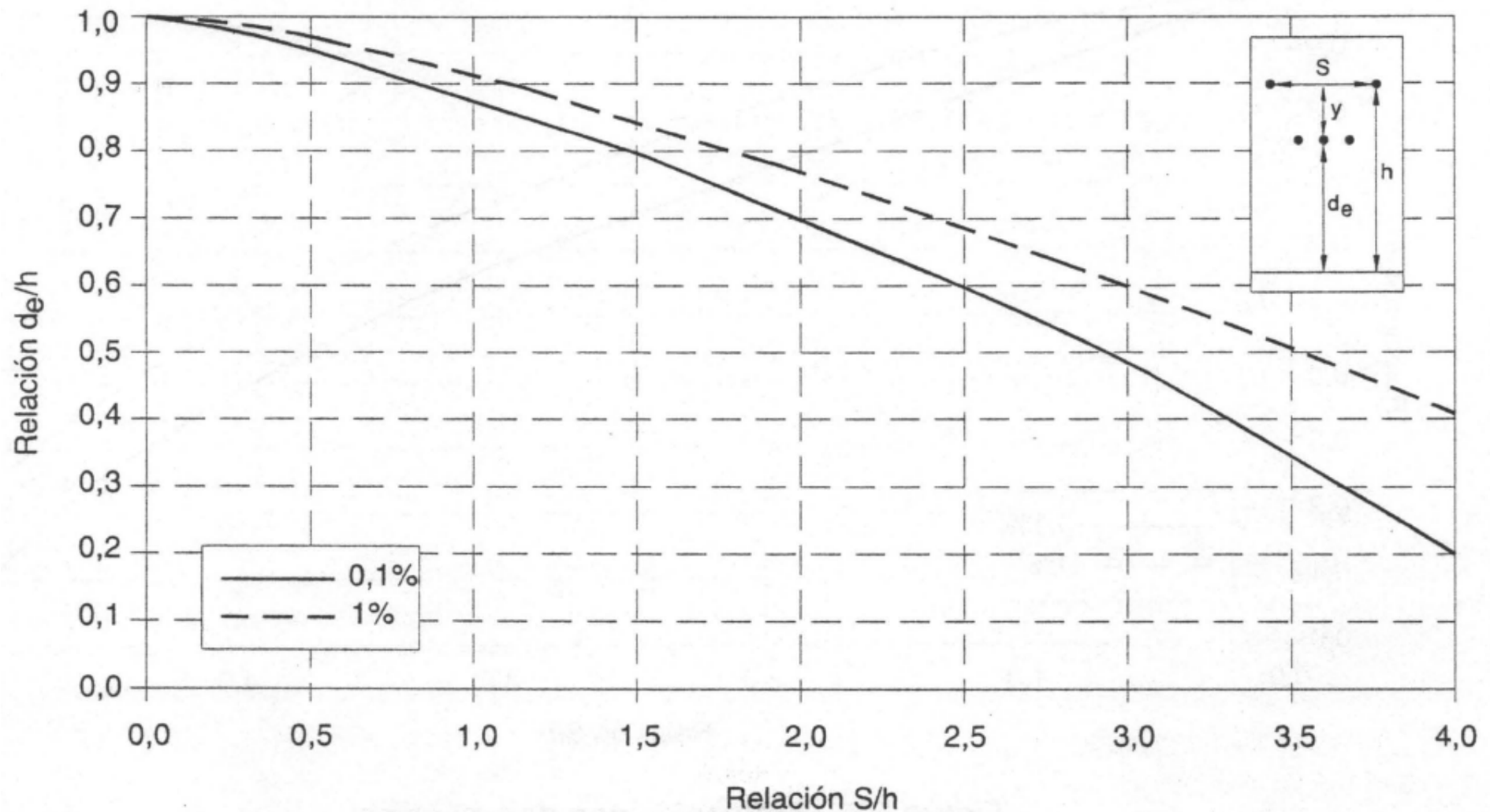
Asignar una altura h , del cable de guarda o del mástil.

Calcular el valor $y = h - d_e$, el cual se localiza en la ordenada de la grafica empírica aplicable, y se desplaza horizontalmente hasta interceptar a la curva aplicable, en dicha intersección descender verticalmente hasta interceptar con el eje de las abscisas, en el cual se obtendrá la distancia S o x hasta la cual se obtendrá la cobertura del apantallamiento.

Si no se obtienen el recubrimiento necesario se deberá modificar la altura o localización de los mástiles o cables de guarda o se adicionan elementos hasta lograr el resultado deseado.



Protección con un cable de guarda (Pe de 0,1 % y 1 %)



Protección con dos cables de guarda (Pe de 0,1 % y 1 %)

Los cálculos elaborados y los resultados obtenidos para cada subestación se muestran en los anexos del documento.



A continuación se presentan los datos requeridos para la determinación de la protección contra descargas atmosféricas de todas las subestaciones aplicando la metodología de curvas empíricas:

Se ha considerado un valor de exposición de 0,1 %.

					S.E. Mantaro Nueva 500 kV	S.E. Caraveli	S.E. Montalvo Nueva 500 kV	Ampliación S.E. Montalvo	S.E. Machupicchu Nueva 220 kV	S.E. Cotaruse Nueva 220 kV
Tensión Nominal (kV)					500	220	500	500	220	220
Tensión Máxima (kV)					550	245	550	550	245	245
Distancia horizontal entre el C.G. y conductor (m)	x				5	5	5	5	5	5
Distancia vertical entre el C.G. y conductor (m)	y				5	5	5	5	5	5
Distancia entre cables de guarda (m)	S				30	16	30	30	16	22.4
Altura del conductor respecto a tierra (m)	d				30	18	30	30	18	16
Altura del cable de guarda (m)	h				35	23	35	35	23	21



De los datos recopilados procedemos a calcular lo siguiente :

Relación entre la separación de cables de guarda y la altura del cable de guarda respecto al suelo (S/h) para todas las subestaciones:

	S/h	0.86	0.70	0.86	0.86	0.70	0.70	0.70	1.07
--	-----	------	------	------	------	------	------	------	------

A partir de la relación S/h procedemos a ubicar en la curva empírica de la Figura A.6 para dos cables de guarda, el valor de d/h, el cual se muestra a continuación:

	d/h	0.9	0.94	0.9	0.9	0.94	0.94	0.94	0.88
--	-----	-----	------	-----	-----	------	------	------	------

A partir de este valor verificaremos despejaremos el valor de h inicialmente asumido, tomando como dato la altura del conductor respecto al suelo (d) :

	h cálc.	33.33	19.15	33.33	33.33	19.15	19.15	19.15	18.18
--	---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Las alturas de los pórticos asumidos inicialmente se comparan con las alturas obtenidas de las curvas empíricas, el cual se muestra a continuación:

Altura del pórtico considerado (m)	h	35	23	35	35	23	23	23	21
Altura del pórtico de la curva empírica (m)	h cálc.	33.33	19.15	33.33	33.33	19.15	19.15	19.15	18.18
Porcentaje de seguridad de la altura (h) escogido		105%	120%	105%	105%	120%	120%	120%	116%

De la comparación realizada entre la altura asumida inicialmente (h) y lo obtenido de las curvas empíricas se concluye:

- El valor de la altura del cable de guarda seleccionado está por encima del valor dado por la curva empírica.

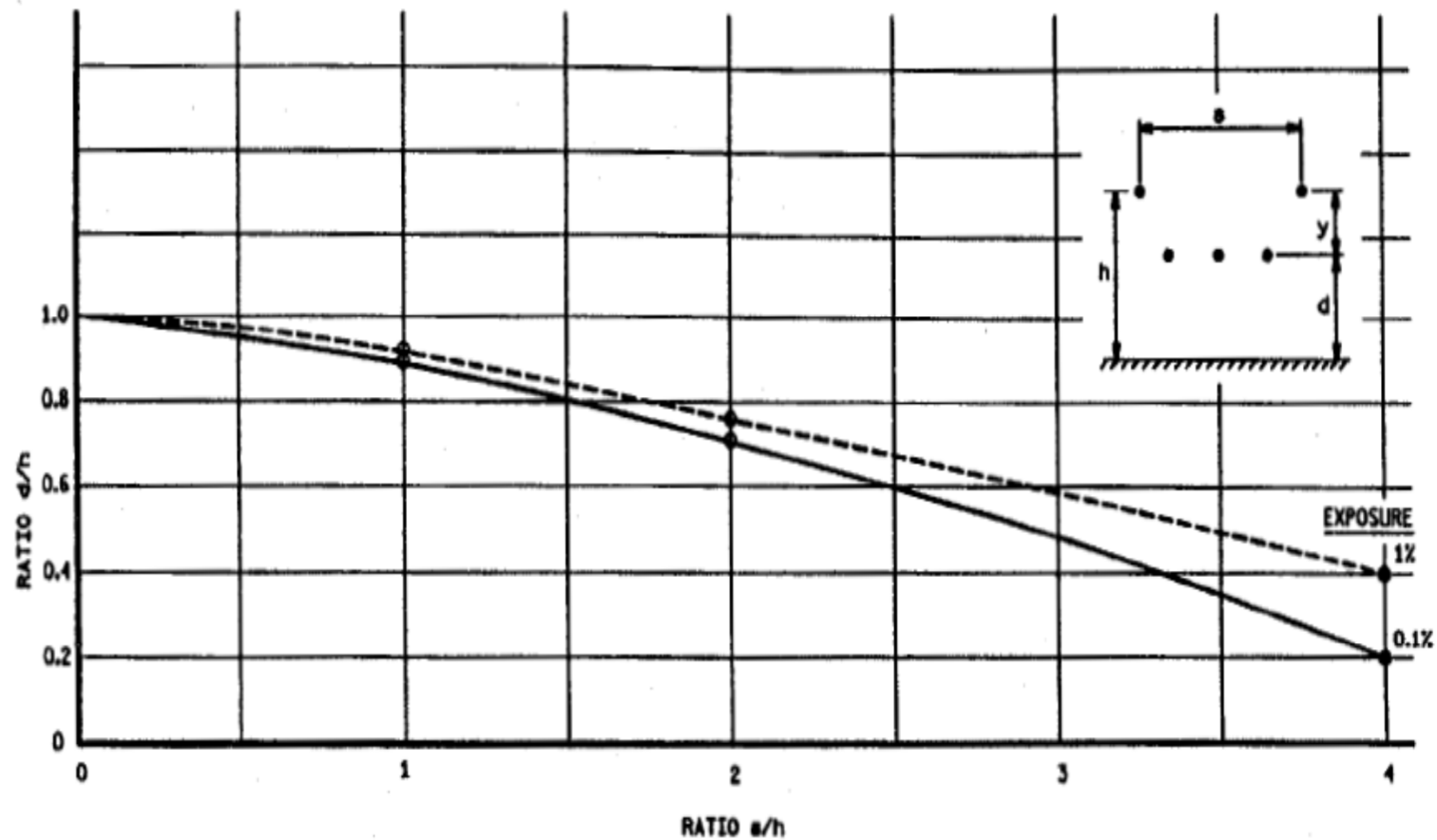


Figure A.6 —Protection of exposed horizontal conductors by two shield wires



CONCLUSIONES

El método electrogeométrico otorga protección contra descargas atmosféricas de todo el equipamiento de la subestación.

La distancia de descarga crítica " S_m " tiene mayor valor que la distancia obtenida por el método de zona protegida " R ".

Ambos métodos cumplen con el objetivo de proteger a los equipos electromecánicos.

Con el método de curvas empíricas se obtiene la altura elegida para los cables de guarda y se ha verificado que todas las alturas escogidas para colocar los cables guarda cumplen con la función de protección contra descargas atmosféricas.

CONCLUSIONES....



En los análisis del apantallamiento se ha empleado un solo tipo de cable de guarda.

Se trata del cable EHS, acero galvanizado, de 9.8 mm de diámetro (5/8" de diámetro) tanto para 220 KV así como para 500 KV.



CONCLUSIONES....

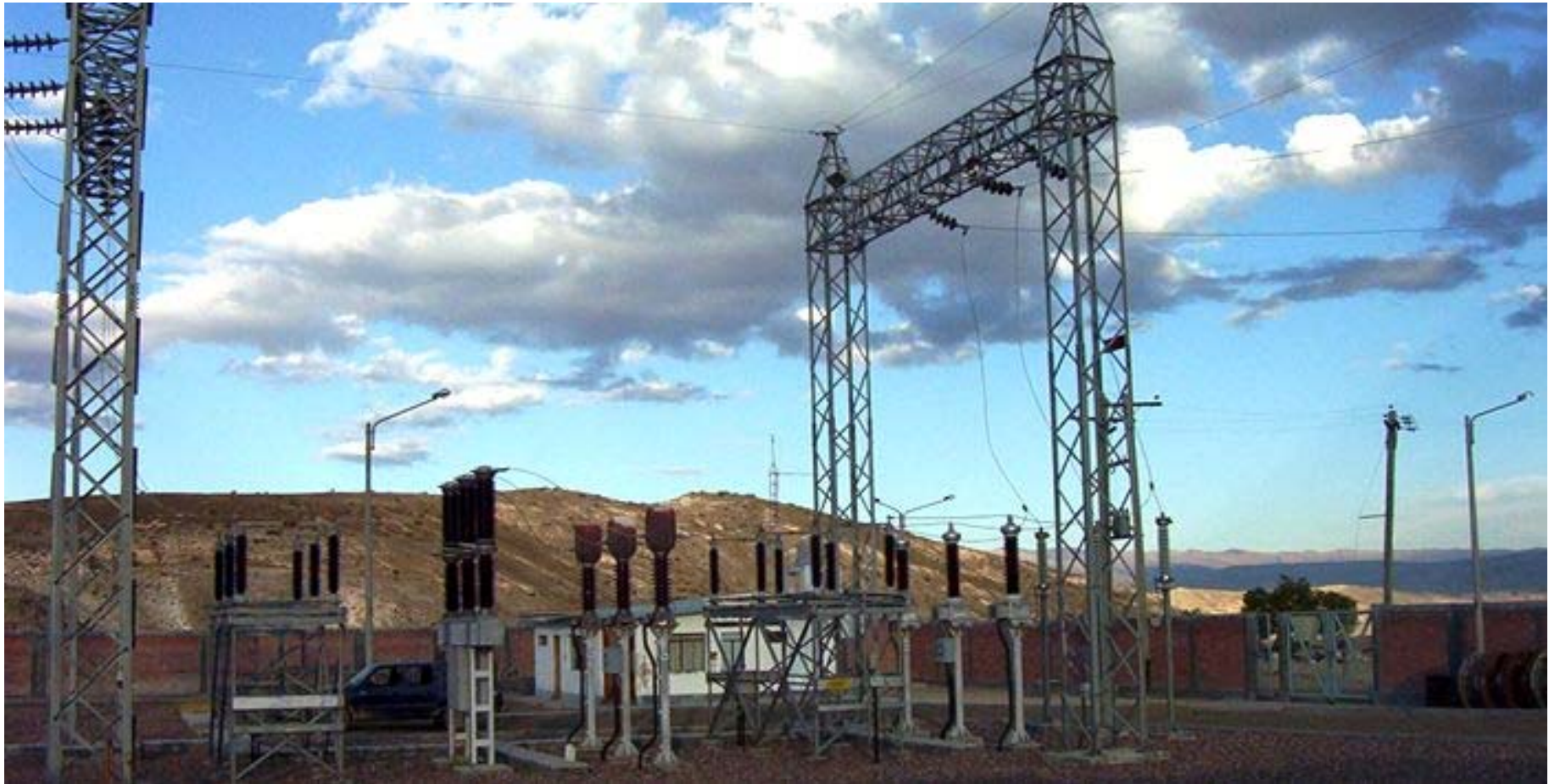


Siempre es conveniente el criterio del tendido del cable de guarda apoyándose en las columnas de los pórticos de las subestaciones.

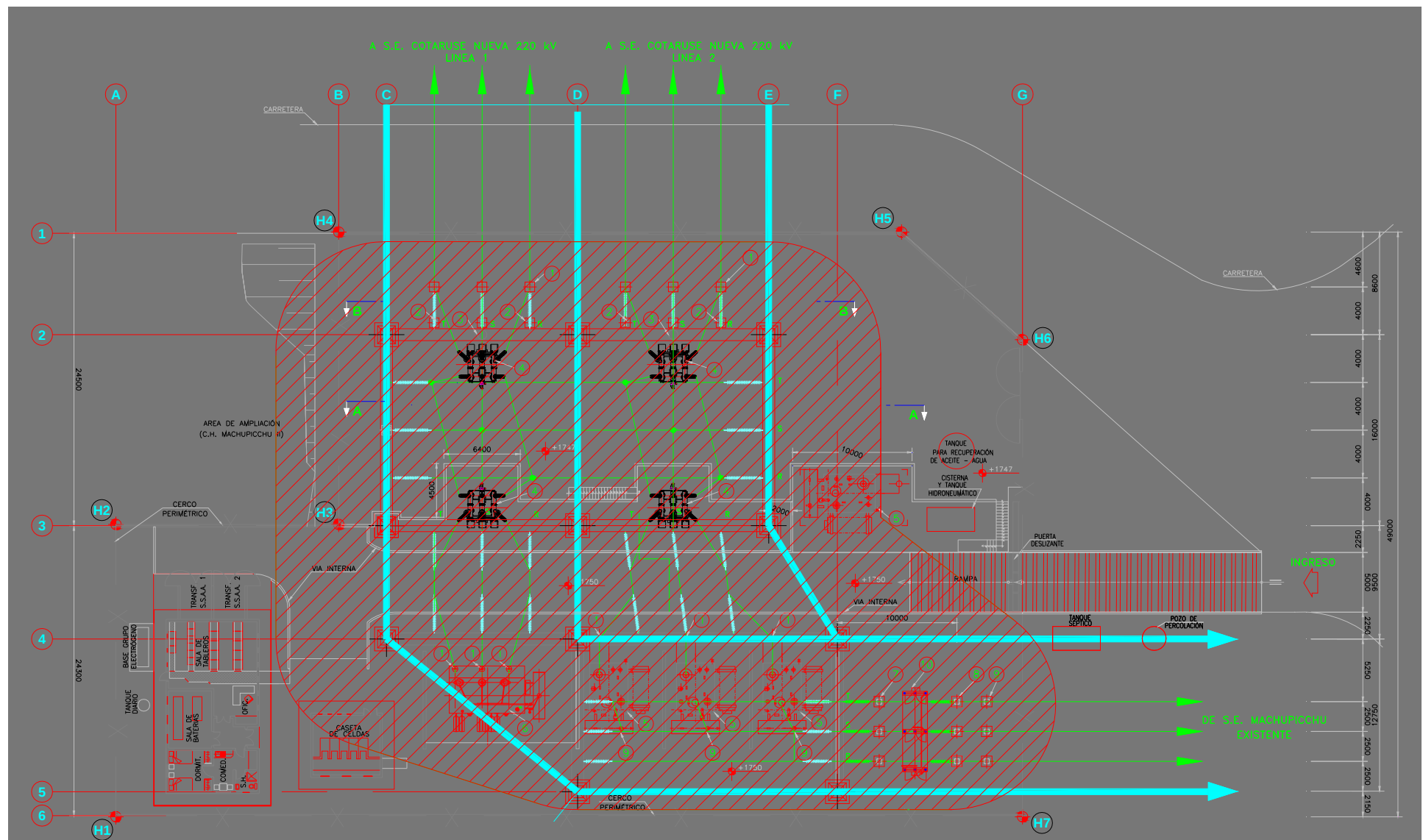


Prof. Juan Bautista R. (FIEE - UNI)

CONCLUSIONES....

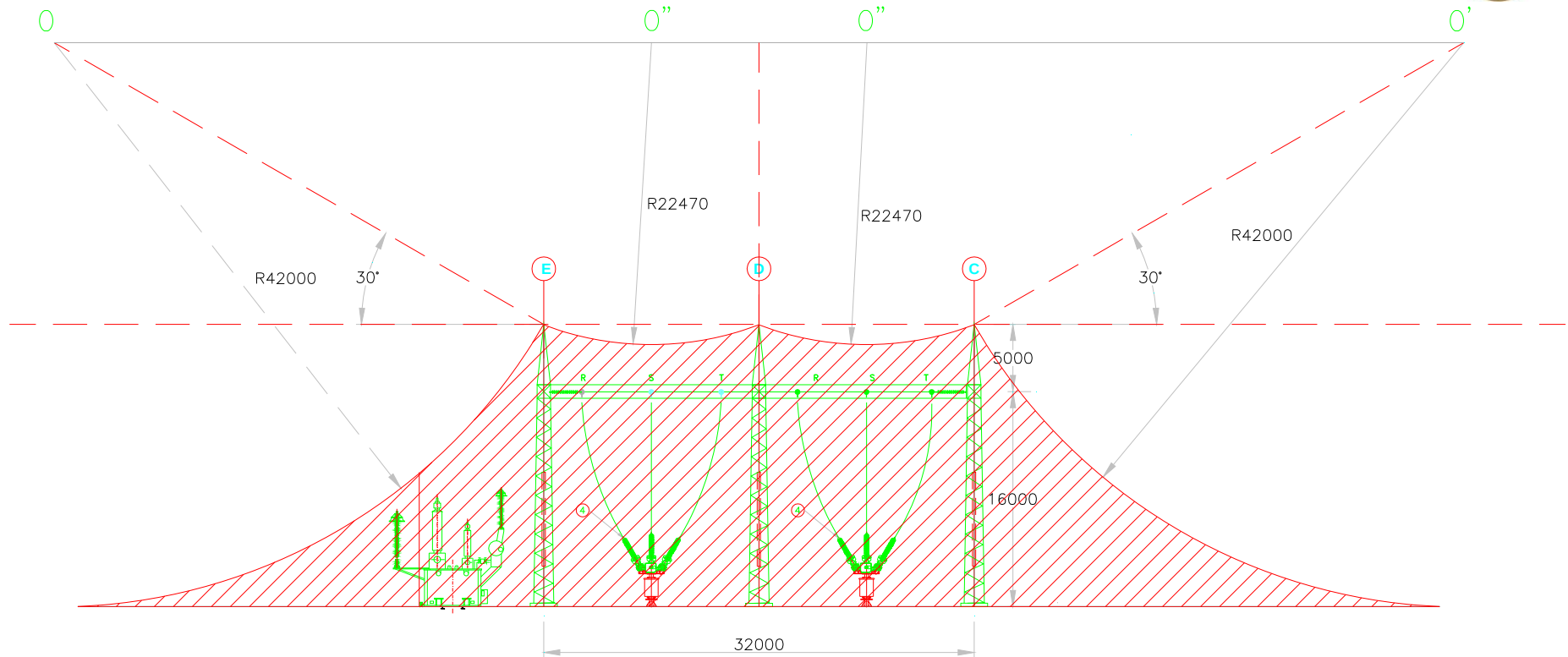


Prof. Juan Bautista R. (FIEE - UNI)

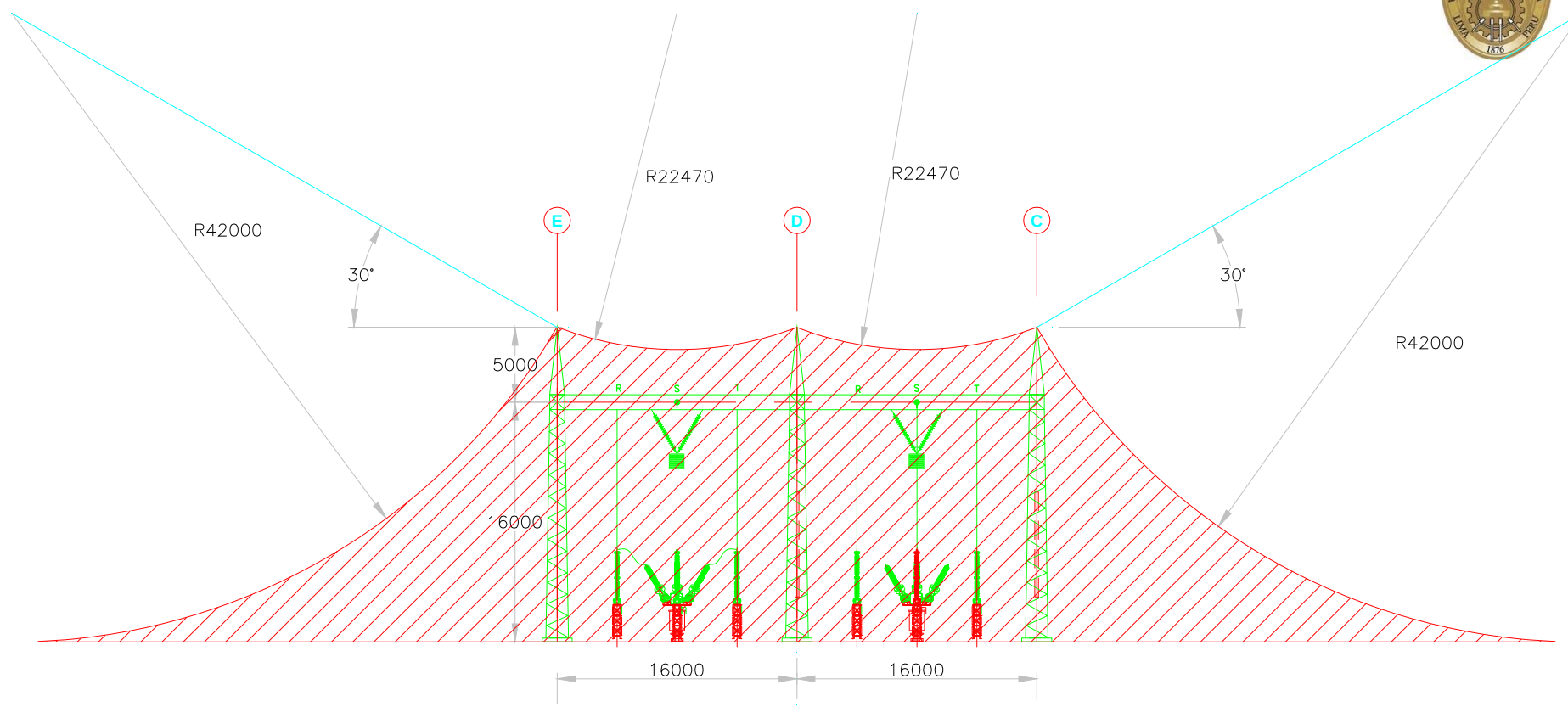




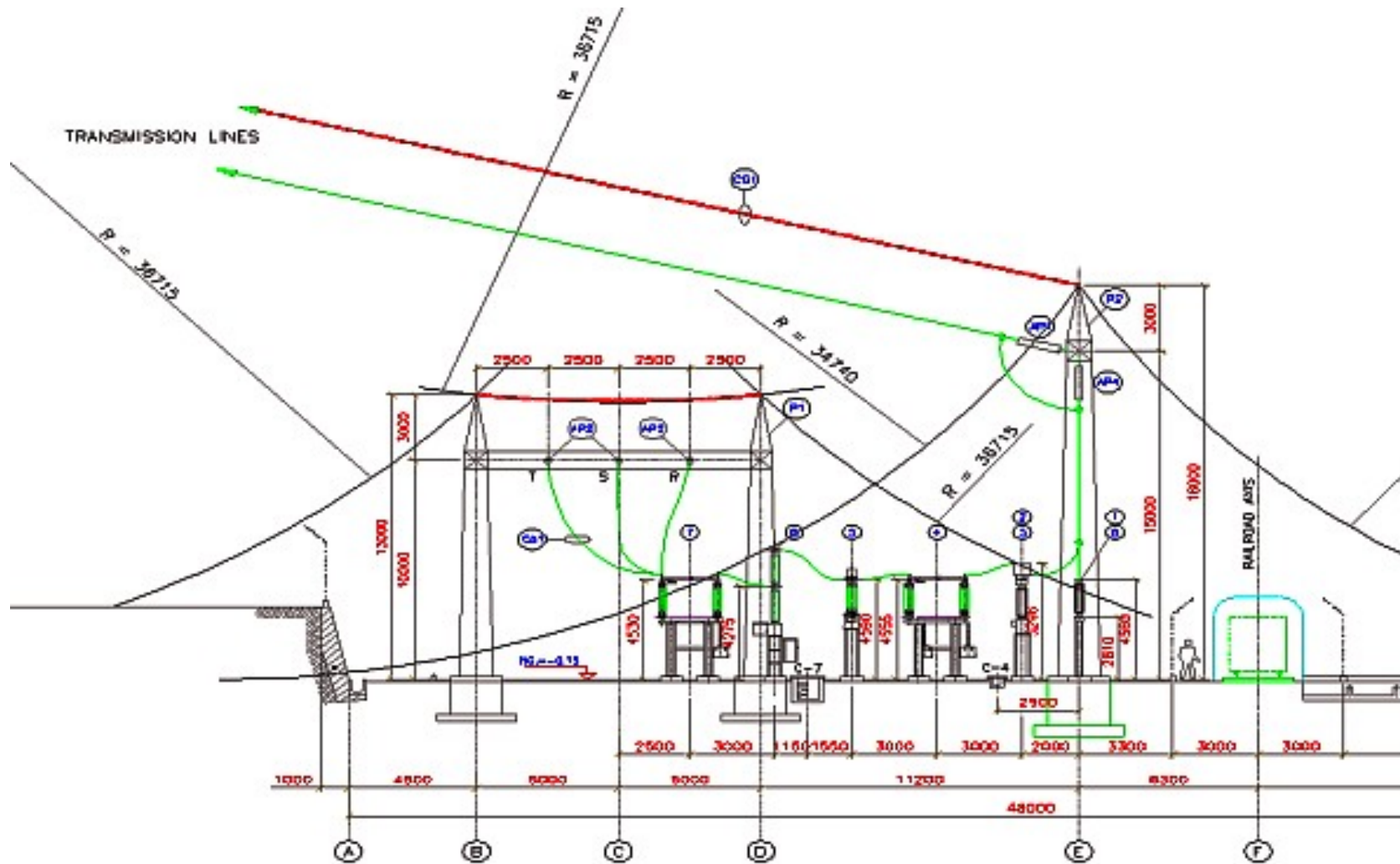
PROTECCION SEGUN METODO DE LANGREHR



SECCION A-A



SECCION B-B





Gracias

Prof. Juan Bautista R. (FIEE - UNI)