

DISEÑO ELECTRICO DEL EDIFICIO PALMETTO SUNSETT.

CARLOS DAVID LOZADA HERNANDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA
CARTAGENA DE INDIAS
2018

DISEÑO ELECTRICO DEL EDIFICIO PALMETTO SUNSETT.

CARLOS DAVID LOZADA HERNANDEZ

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Eléctricista

Director

ENRIQUE VANEGAS

Ingeniero Eléctricista

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA

CARTAGENA DE INDIAS

2018

Cartagena de Indias, 03 de mayo de 2018

Señores
Comité de evaluación de proyectos
Facultad de ingeniería
Programa de Ingeniería Eléctrica
Cartagena

Estimados señores

Por medio de la presente, me dirijo a ustedes para hacerles entrega del trabajo de grado titulado “**DISEÑO ELECTRICO DEL EDIFICIO PALMETTO SUNSETT**”, como requerimiento para optar por el título de Ingeniero Electricista.

Atentamente.



CARLOS DAVID LOZADA HERNANDEZ
CC 73207159 DE CARTAGENA

Cartagena de Indias, 03 de mayo de 2018

Señores

Comité de evaluación de proyectos

Facultad de ingeniería

Programa de Ingeniería Eléctrica

Cartagena

Estimados señores

Por medio de la presente, me dirijo a ustedes para hacerles constar que el trabajo de grado titulado “**DISEÑO ELECTRICO DEL EDIFICIO PALMETTO SUNSETT**”, realizado por el estudiante **CARLOS DAVID LOZADA HERNANDEZ**, y dirigido por el Ingeniero Enrique Vanegas, es propiedad intelectual compartida con la Universidad Tecnológica de Bolívar, con fines de uso específicos en la academia y laboral.

Atentamente.



CARLOS DAVID LOZADA HERNANDEZ

CC 73207159 DE CARTAGENA

Cartagena de Indias, 03 de mayo de 2018

Señores
Comité de evaluación de proyectos
Facultad de ingeniería
Programa de Ingeniería Eléctrica
Cartagena

Estimados señores

Por medio de la presente, me dirijo a ustedes para hacerles entrega del trabajo de grado titulado “**DISEÑO ELECTRICO DEL EDIFICIO PALMETTO SUNSETT**”, realizada por el estudiante **CARLOS DAVID LOZADA HERNANDEZ**, en la cual me desempeñe como director.

Atentamente



Ing. ENRIQUE VANEGAS

NOTA DE ACEPTACION

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

“La victoria es más dulce cuando se conoce la derrota”

Malcolm Forbes

AGRADECIMIENTOS

AGRADEZCO A DIOS Y A MI MADRE.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	16
OBJETIVOS.	17
1. CAPITULO I: GENERALIDADES DEL EDIFICIO.	18
1.1 CARACTERISTICAS DEL EDIFICIO.	18
1.2 CARACTERISTICAS ELECTRICAS DEL EDIFICIO.	20
1.3 NORMATIVA APLICABLE.	22
2. CAPITULO II: CIRCUITO RAMALES Y ALIMENTADORES.	23
2.1 CALCULO DE LOS CIRCUITOS RAMALES.	23
2.2 CALCULO DE LOS ALIMENTADORES.	26
3. CAPITULO III: PROTECCIONES.	31
3.1 PROTECCIONES EN BAJA TENSION	31
3.2 PROTECCIONES EN MEDIA TENSION.	32
4. CAPITULO IV: PORCENTAJE DE OCUPACION DE LA TUBERIA Y BANDEJAS PORTACABLES.	37
4.1 CALCULO DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA.	37
4.2 CALCULO DEL TAMAÑO DE LA BANDEJA.	38
5. CAPITULO V: PUESTA A TIERRA	40
5.1 PASOS PARA CALCULAR EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA UTILIZANDO EL STANDARD IEEE 80-2000	41
6. CAPITULO VI: APANTALLAMIENTO	53

6.1	ANALISIS DE RIESGO POR DESCARGAS ATMOSFERICAS.	53
6.2	METODOS DE PROTECCION AEREA PARA DESCARGAS ATMOSFERICAS.	55
7.	CAPITULO VII: CALCULOS ELECTRICOS	64
	CONCLUSIONES	65
	BIBLIOGRAFIA	66
	ANEXOS	67

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Localización del Proyecto.	19
Tabla 2. Características de la Instalación de MT.	20
Tabla 3. Características de la Instalación de BT.	21
Tabla 4. Características del Centro de Transformación.	21
Tabla 5. Características de los Equipos de Medida.	22
Tabla 6. Capacidad de Corriente Permitida en los Conductores.	25
Tabla 7. Requisito de los Circuitos Ramales.	26
Tabla 8. Porcentaje de la sección transversal en tubos Conduit y tuberías, para el llenado de conductores.	37
Tabla 9. Conductores de Puesta a Tierra teniendo en cuenta su Material.	52
Tabla 10. Calibre de los Conductores de puesta a Tierra con base en la Corriente.	53
Tabla 11. Radio de la Esfera Rodante según el Nivel de Riesgo Calculado.	60
Tabla 12. Penetración de la Esfera Rodante en caso de dos puntas Captoras o dos captores paralelos.	63
Tabla 13. Capacidad de Corriente Permitida en los Conductores.	83
Tabla 14. Datos de la Resistividad en Sitio.	89

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Edificio Palmetto Sunsett.	18
Figura 2. Localización Geográfica Edificio.	19
Figura 3. Curva Tiempo Corriente de Fusión para Fusibles.	35
Figura 4. Curva de Efecto de Limitación de Corriente.	36
Figura 5. Modelos del Montaje del Método de Wenner.	41
Figura 6. Interfaz Gráfica del Software IEC Risk Assessment Calculator.	56
Figura 7. Métodos de Diseño de un Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas.	58
Figura 8. Profundidad de Penetración de la Esfera Rodante.	61
Figura 9. Dispositivos Captadores para Estructuras en Cubierta con su Correspondiente Espacio Protegido.	62
Figura 10. Calculo de las Bandejas Portacables.	85
Figura 11. Corrientes de Corto-Circuito.	87
Figura 12. Coordinación de Protecciones.	88
Figura 13. Calculo de la Malla a Tierra.	92
Figura 14. Calculo del Nivel de Riesgo.	93
Figura 15. Resultado Análisis de Riesgo PALMETTO SUNSETT.	94
Figura 16. Calculo de la Longitud de los Captadores.	95

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo #1: Cálculos Eléctricos.	68
Anexo #2: Protocolo del Transformador.	96
Anexo #3: Análisis de la Malla a Tierra.	97
Anexo #4: Análisis del Suelo.	98
Anexo #5: Configuración de la Malla.	100
Anexo #6: Diagrama del Contorno de Potencial.	101
Anexo #7: Diagrama del Perfil del Potencial.	102
Anexo #8: Modelo del Suelo.	103
Anexo #9: Reporte del Contorno del Potencial.	104

RESUMEN

El propósito de este trabajo es ilustrar con claridad el diseño eléctrico del proyecto de un edificio de apartamentos de 45 pisos, que están divididos en 31 pisos de aptos, 3 de zona social, 8 pisos de parqueaderos y 1 zona de depósito, 1 cuarto de máquinas y 1 helipuerto.

Para que el diseño tenga validez deberá de cumplir con lo establecido en el reglamento técnico de instalaciones eléctricas, RETIE y con la norma colombiana NTC-2050 que es el código eléctrico nacional, adicional utilizaremos normas avaladas por organismos internacionales como son la IEEE, NFPA, IEC.

Las memorias se apoyaran por medio de planos en los que se define claramente cada área de la instalación, así como cuadros de carga y diagramas unifilares que ayudan a la comprensión del diseño.

El desarrollo de los cálculos se realizara por medio de la herramienta EXCEL 2013, programa de Microsoft Office.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to clearly illustrate the electrical design of a 45-story apartment building, which are divided into 31 apartments, 3 social areas, 8 parking lots and 1 storage area, 1 machine room and 1 heliport.

In order for the design to be valid, it must comply with the provisions of the technical regulation for electrical installations, RETIE and with the Colombian standard NTC-2050, which is the national electrical code. In addition, we will use standards endorsed by international organizations such as the IEEE, NFPA, IEC.

The memories will be supported by means of plans in which each area of the installation is clearly defined, as well as load charts and single-line diagrams that help to understand the design.

The development of the calculations will be done through the tool EXCEL 2013, Microsoft Office program.

INTRODUCCION

En este documento se recopiló la información de los pasos seguidos para la realización de un diseño eléctrico residencial, el cual se obtuvo en un periodo de tres meses donde se realizó el estudio de las normas internacionales, nacionales y del operador de red local, que estuvieran vigentes.

Se realizaron los cálculos del transformador, cuadros de carga, selección de conductores y coordinación de las protecciones en baja tensión.

Se hizo especial énfasis en el manejo y uso adecuado de las normas que rigen los proyectos eléctricos, para tener una idea clara de los conceptos que deben de ser tomados en cuenta al momento de realizar un diseño eléctrico.

Los modelos matemáticos utilizados fueron los más sencillos, permitiendo de esta manera dar a conocer las herramientas de trabajo del día a día de los diseñadores.

Se utilizó la herramienta informática EXCEL-2013, para simplificar el trabajo de cálculo de las instalaciones y para motivar a los lectores a desarrollar sus propias versiones de hojas de cálculo para fomentar el desarrollo de nuevos programas que permitan simplificar el trabajo.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

Realizar el diseño eléctrico de un edificio de apartamentos, acorde a la normatividad eléctrica vigente que rige los proyectos de este tipo, las cuales son la NORMA NTC-2050 y EL RETIE.

OBJETIVO ESPECIFICO.

Realizar los cálculos eléctricos pertinentes a través de la herramienta EXCEL 2013 de Microsoft, los cuales estarán basados en procedimientos y formulas mostrados con anterioridad durante el desarrollo del proyecto.

1. CAPITULO I: GENERALIDADES DEL EDIFICIO.

1.1 CARACTERISTICAS DEL EDIFICIO.



Figura 1. Edificio Palmetto Sunsett.

Fuente: Autor.

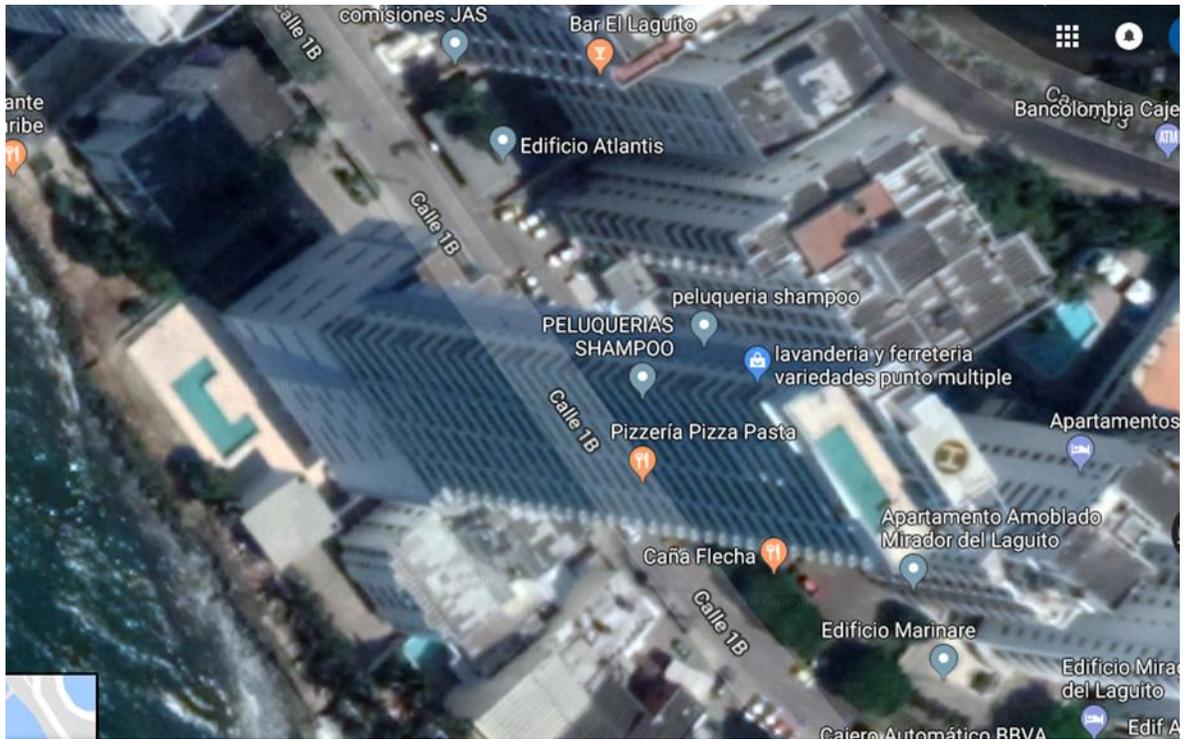


Figura 2. Localización Geográfica del Edificio.

Fuente: Google Maps.

Tabla 1. Localización del Proyecto.

LOCALIZACION DEL PROYECTO	
NOMBRE	PALMETTO SUNSETT
DIRECCION	CALLE 1 # 2-38 AV ALMIRANTE BRIOM
BARRIO	LAGUITO
MUNICIPIO	CARTAGENA
DEPARTAMENTO	BOLIVAR
NIVEL DE ELECTRIFICACION	URBANO 13.2KV TRIFASICO

Fuente: Autor.

El edificio constara de:

- Tres zonas sociales ubicadas en el piso # 1, donde está la piscina principal del edificio, el piso # 9, gimnasio, spa y salón de eventos, y el piso # 45, piscina adultos y jacuzzi.
- Un helipuerto en el piso # 45.
- Tres ascensores cuyo cuarto de máquinas estará ubicado en el piso # 44.
- Ciento diecinueve apartamentos de 4 tipos diferentes.
- Ocho pisos de parqueaderos con 119 unidades correspondientes a los apartamentos que conforman el edificio.

1.2 CARACTERISTICAS ELECTRICAS DEL EDIFICIO.

Tabla 2. Características de la Instalación de MT.

INSTALACION DE MEDIA TENSION	
Tension Nominal de Diseño (kV)	13.2
Potencia Maxima de Transporte (MVA)	1.0
Conductores	XLPE #2 - 15kv
# Circuitos	1
Origen	Poste Exterior
Final	Seccionador en subestacion tipo interior
Longitud Red Aerea (Km)	N/A
Longitud Red Subterranea (Km)	0,08

Fuente: Autor.

Tabla 3. Características de la Instalación de BT.

INSTALACION DE BAJA TENSION	
Tension Nominal de Diseño (kV)	220
Conductores	Barraje de cobre de 1779 Amperios por fase.
Configuracion de la linea de BT	2 Barras de cobre de 1779 Amperios cada una por fase + 2 Barras de cobre de 1779 Amperios cada una para neutro.
Numero de Clientes	119
Longitud Red Aerea (Km)	N/A
Longitud Red Subterranea (Km)	0,08

Fuente: Autor.

Tabla 4. Características del Centro de Transformación.

INSTALACION CT		
DESCRIPCION	UNIDADES	VALOR
Potencia	KVA	1000
Aislante		
Tensiones	Vp	13200
	Vs	220/120
Tipo Trafo	Seco tipo F, embebido en resina.	
Grupo de Conexión	DyN5	
Temperatura Aceite	°C	N/A
Temperatura Devanados	°C	100
Bil	kV	95
Uz	%	5

Fuente: Autor.

Tabla 5. Características de los Equipos de medida.

EQUIPOS DE MEDIDA		
DESCRIPCION	UNIDADES	VALOR
MEDIDOR		
Tipo de Medida	Electronico	
Tension de Servicio	KV	13,2
Corriente de Servicio	A	6,56
Clase de Precision		0,5
TRAFOS DE MEDIDA		
Relacion de transformacion (TCs)	A	(30-50) / 5A
Relacion de transformacion (TPs)	V	13,200/120
Tipo		
Clase de Precision		0,5

Fuente: Autor.

1.3 NORMATIVA APLICABLE.

- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE.
- Norma NTC-2050.
- Norma NFPA 70.
- Norma NTC-4552.
- Contrato de Condiciones Uniformes de ELECTRICARIBE SA E.S.P.
- Norma IEEE STD 80-2000
- IEC 62325

2. CAPITULO II: CIRCUITO RAMALES Y ALIMENTADORES.

Para la realización de los diseños eléctricos utilizaremos como base el método establecido en la norma NTC-2050 SECCION 220: "Calculo de los circuitos alimentadores, ramales y acometidas", a través de los factores de demanda residenciales y equipos a utilizar en estas instalaciones.

Determinaremos la carga demandada para una instalación residencial calculando la demanda de los respectivos circuitos, la cantidad de circuitos y requerimientos serán definidos por las necesidades de cada área.

2.1 CALCULO DE LOS CIRCUITOS RAMALES.

Empecemos por definir que es un Circuito Ramal, según la NTC-2050 es:

"Circuito ramal: conductores de un circuito entre el dispositivo final de protección contra sobrecorriente y la salida o salidas."

Fuente NTC-2050, Capitulo 1, Pág. 8.

Los conductores de los circuitos ramales deberán tener una capacidad de corriente no menor a la carga máxima que se va a alimentar. Adicional a esto, los conductores de los circuitos ramales con varias salidas para alimentar tomacorrientes para cargas portátiles conectadas con cordón y clavija, deberán tener una capacidad de corriente no menor a la corriente nominal del circuito ramal. Los cables cuyo conductor neutro tenga menor sección transversal que los conductores no puestos a tierra, deben ir rotulados.

Para calcular el conductor del circuito ramal, se deberá:

- Sumar las potencias individuales de todas y cada una de las cargas conectadas al circuito.
- Calcular la corriente.

Ahora para calcular la corriente utilizaremos la siguiente formula:

$$I = \frac{W}{V_{fn}} \quad \text{Ecuación \# 1.}$$

Donde:

W : Potencia del circuito en wattios. (W)

V_{fn} : Voltaje fase-neutro en voltios. (V)

Adicional a los cálculos pertinentes de selección de los conductores es necesario apoyarse en las normas vigentes para cualquier ajuste que debamos de hacer a la selección de los conductores, como son el tipo de material de los conductores y la temperatura a la cual estos van a trabajar.

Tabla 6. Capacidad de Corriente Permitida en los Conductores.

Tabla 310-16 Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30 °C.

Sección transv.	Temperatura nominal del conductor (ver Tabla 310-13)						Calibre
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS,SA,SS,FEP*, FEPB*,MI,RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*,THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS,SA,SS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm ²	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	--	--	14	--	--	--	18
1,31	--	--	18	--	--	--	16
2,08	20*	20*	25	--	--	--	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,20	110	130	150	85	100	115	1
53,50	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	450	800
456,03	435	520	585	355	425	480	900
506,70	455	545	615	375	445	500	1.000
633,38	495	590	665	405	485	545	1.250
760,05	520	625	705	435	520	585	1.500
886,73	545	650	735	455	545	615	1.750
1.013,40	560	665	750	470	560	630	2.000
FACTORES DE CORRECCIÓN							
Temp. ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30°C, multiplicar las anteriores corrientes por el correspondiente factor de los siguientes						Temp. ambiente en °C
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	21-25
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	26-30
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	31-35
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	36-40
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	41-45
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	46-50
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	51-55
56-60		0,58	0,71		0,58	0,71	56-60
61-70		0,33	0,58		0,33	0,58	61-70
71-80			0,41			0,41	71-80

* Si no se permite otra cosa específicamente en otro lugar de este Código, la protección contra sobrecorriente de los conductores marcados con un asterisco (*), no debe superar los 15 A para el conductor de sección transversal 2,08 mm²(14AWG); 20 A para 3,3 mm² (12 AWG) y 30 A para 5,25 mm² (10 AWG), todos de cobre; o 15 A para 3,3 mm² AWG) y 25 A para 5,25 mm² (10 AWG) de aluminio y aluminio recubierto de cobre, una vez aplicados todos los factores de corrección por temperatura ambiente y por número de conductores.

Fuente: NTC 2050, Capítulo # 3, Página 182.

Tabla 7. Requisitos de los Circuitos Ramales.

Tabla 210-24. Resumen de requisitos de los circuitos ramales

Corriente nominal del circuito	15 A	20 A	30 A	40 A	50 A
Conductores (Calibre mínimo)*:					
Alambres del circuito	2,08(14)	3,3(12)	5,25(10)	8,36(8)	13,29(6)
Salidas derivadas	2,08(14)	2,08(14)	2,08(14)	3,3(12)	3,3(12)
Alambres y cordones de artefactos	Véase Artículo 240-4				
Protección contra sobrecorriente	15 A	20 A	30 A	40 A	50 A
Dispositivos de salida:					
Portabombillas permitidos	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Servicio pesado	Servido pesado	Servicio pesado
Capacidad nominal del tomacorriente **	15 A max.	15 o 20 A	30 A	40 o 50 A	50 A
Carga máxima	15 A	20 A	30 A	40 A	50 A
Carga permisible	Véase Artículo 210-23.a)	Véase Artículo 210-23.a)	Véase Artículo 210-23.b)	Véase Artículo 210-23.c)	Véase Artículo 210-23.c)

* Estos calibres se refieren a conductores de cobre con sección transversal en mm² y entre paréntesis AWG.

** Para la capacidad nominal de los tomacorrientes para los artefactos con lámpara de descarga conectados con cordón, véase Artículo [410-30.c](#)).

Fuente: NTC-2050, Capítulo # 2, Página 45.

2.2 CALCULO DE LOS ALIMENTADORES.

Empecemos por definir que es un Alimentador, según la NTC-2050 es:

“Alimentador: todos los conductores de un circuito entre el equipo de acometida, la fuente de un sistema derivado independiente u otra fuente de suministro de energía eléctrica y el dispositivo de protección contra sobrecorriente del circuito ramal final.”

Fuente NTC-2050, Capítulo 1, Pág. 6.

Todos los alimentadores deberán de ser calculados en base a dos parámetros los cuales son:

- Capacidad de corriente.
- Caída de tensión.

2.2.1 Cálculo de alimentador por capacidad de corriente.

Para este cálculo utilizaremos las siguientes formulas según sea el caso:
Sistema Monofásico.

$$I = \frac{W}{V_{fn} * f_p} \quad \text{Ecuación \# 2.}$$

Sistema Monofásico Trifilar.

$$I = \frac{W}{V_{ff} * f_p} \quad \text{Ecuación \# 3.}$$

Sistema Trifásico.

$$I = \frac{W}{V_{ff} * f_p * \sqrt{3}} \quad \text{Ecuación \# 4.}$$

Donde:

I : Corriente eléctrica [A]

W : Potencia [W]

V_{ff} : Voltaje fase-fase [V]

V_{fn} : Voltaje fase-neutro [V]

f_p : Factor de potencia (0.9)

2.2.2 Cálculo de alimentadores por caída de voltaje.

Para este cálculo utilizaremos las siguientes formulas según sea el caso:

Sistema Monofásico.

$$S = \frac{4IL}{V_{fn} * \%e} \quad \text{Ecuación \# 5.}$$

Sistema Monofásico Trifilar.

$$S = \frac{4IL}{V_{ff} * \%e} \quad \text{Ecuación \# 6.}$$

Sistema Trifásico.

$$S = \frac{2IL\sqrt{3}}{V_{ff} * \%e} \quad \text{Ecuación \# 7.}$$

Donde:

S : Seccion del conductor [mm^2]

I : Corriente Electrica [A]

L : Longitud del conductor[m]

V_{ff} : Voltaje fase-fase [V]

V_{fn} : Voltaje fase-neutro [V]

$\%e$: Porcentaje de caída de tensión máxima permisible (%)

$$\%e = \frac{2IL(R\cos\theta + X\sin\theta)}{10 * V_{ff}} \quad \text{Ecuación \# 8.}$$

Donde:

En donde:

X : Reactancia del conductor [ohm / km]

I : Corriente [A]

L : Longitud del alimentador [m]

$\%e$: Caída de tensión [%]

R : Resistencia del conductor [ohm / km]

V_{ff} : Tensión entre fases [V]

$\cos \theta$ = Factor de potencia

La resistencia y la reactancia de los conductores se tomaron de la Tabla 9 del NEC.

Otra manera de calcular la caída de tensión de un sistema eléctrico es la siguiente:

Sistema Trifásico.

$$\%CV = \frac{\sqrt{3} * I * L * 100}{56 * S * V} \quad \text{Ecuación \# 9.}$$

Sistema Monofásico Trifilar.

$$\%CV = \frac{2 * I * L * 100}{56 * S * V} \quad \text{Ecuación \# 10.}$$

Donde:

I = Corriente en amperios. (A)

L = Longitud de la acometida en metros. (m)

S = Sección del conductor en milímetros cuadrados. (mm²)

V = Voltaje en voltios. (V)

Es necesario y obligatorio considerar todos los factores relacionados a la selección de conductores puesto que estos al ser los transportadores de energía hacia las cargas del sistema se convierten en los elementos más importantes del mismo, es por tal motivo que se hace énfasis en no dejar cualquier variable que afecte a los alimentadores por mínimo que este sea.

3. CAPITULO III: PROTECCIONES.

Para la selección de la protección de sobrecorriente de cualquier circuito es necesario consultar la norma NTC-2050, específicamente la “SECCION 240: PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE”, porque dependiendo el escenario, se darán condiciones para el cálculo de la protección.

El principio fundamental de selección de la protección contra sobrecorriente es *“la capacidad del interruptor nunca debe de estar por encima de la capacidad de corriente el conductor”*.

3.1 PROTECCIONES EN BAJA TENSION

Para calcular los interruptores automáticos de la instalación se tomaron en cuenta las siguientes condiciones:

Condición # 1

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

Ecuación # 11.

Donde:

I_b : Corriente de Diseño

I_n : Corriente nominal del interruptor automático

I_z : Corriente máxima del conductor

Esto indica que el fusible debe dejar pasar la corriente necesaria para que la instalación funcione en base a la demanda prevista, pero no debe permitir que pase una corriente mayor.

Condición # 2

$$I_f \leq 1,25 * I_z \qquad \text{Ecuación \# 12.}$$

Donde:

I_f : corriente que garantiza el funcionamiento efectivo de la protección

Esto expresa que en realidad los cables eléctricos pueden soportar sobrecargas imprevistas momentáneas sin deteriorarse de hasta un 125% de la intensidad máxima admisible térmicamente. Es entonces cuando los interruptores automáticos deberán de actuar

3.2 PROTECCIONES EN MEDIA TENSION.

Las características de los fusibles de expulsión de los transformadores deben ser ofrecidos por los fabricantes, ya que se requiere la máxima coordinación posible. Los esfuerzos que deben soportar los fusibles son:

- Corriente de energización del transformador.
- Corriente continua de operación y posibles sobrecargas.
- Corrientes de falla en los terminales del secundario del transformador.

Para la selección adecuada del fusible es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Corriente transitoria de energización.**

Para evitar un envejecimiento prematuro de los fusibles se debe verificar que la corriente en la cual el fusible comienza a sufrir deformación térmica en 0,1 segundo sea siempre mayor o igual a 14 veces la corriente nominal del transformador, la corriente de magnetización se puede hallar por medio de la siguiente expresión:

$$I_b = \frac{I^{(0,1s)}}{14} \quad \text{Ecuación \# 13.}$$

- **Corriente normal de operación y condiciones de sobrecarga.**

Bajo condiciones ambientales normales (T no superior a 40°C), la corriente nominal del fusible no debe de ser menor a 1,3 veces la corriente nominal del transformador. Por lo general se selecciona el fusible dentro de los siguientes rangos:

$$1,3I_{n\ transf} \leq I_{n\ fus} \leq 1,5I_{n\ transf} \quad \text{Ecuación \# 14.}$$

Si el transformador está diseñado para operar continuamente en condiciones de sobrecarga, se toma como referencia la corriente de sobrecarga.

- **Corriente de falla en el secundario del transformador.**

La corriente a ser interrumpida no debe ser menor que la mínima capacidad de interrupción del fusible (I_3):

$$I_A \geq I_3 * U_z \quad \text{Ecuación \# 15.}$$

$$I_A \leq I_{n \text{ transf}} \leq I_B \quad \text{Ecuación \# 16.}$$

Adicionalmente debe asegurarse que la corriente de corto circuito sea mayor que la capacidad del fusible (2s).

3.2.1 Procedimiento de selección.

1. Revisar las características del transformador a proteger: Potencia (KVA), Impedancia de corto circuito UZ (%) y corriente nominal (A).
2. Consultar las características de los fusibles a utilizar: Curvas Corriente vs Tiempo y mínima capacidad de interrupción (I3).
3. Revisar las características de instalación y operación: uso interior o exterior, condiciones de sobrecarga, entre otras.
4. Seleccionar el rango del fusible como función de la carga nominal del transformador. Si la instalación y condiciones de operación no están plenamente definidas, se debe seleccionar el rango inmediatamente superior a $1,5I_n$ del transformador.
5. Revisar que el rango del fusible es suficiente para cumplir las siguientes condiciones:

$$I_b = \frac{I^{(0,1s)}}{14} \quad \text{Ecuación \# 17.}$$

$$1,3I_{n \text{ transf}} \leq I_{n \text{ fus}} \leq 1,5I_{n \text{ transf}} \quad \text{Ecuación \# 18.}$$

$$I_A \geq I_3 * U_z \quad \text{Ecuación \# 19.}$$

$$I_A \leq I_{n \text{ trans}} \leq I_B \quad \text{Ecuación \# 20.}$$

Si el fusible seleccionado no cumple con alguno de los anteriores requisitos debe seleccionar el fusible inmediatamente superior y verificar de nuevo.

Podemos apoyarnos en las siguientes gráficas para facilitar el trabajo de selección.

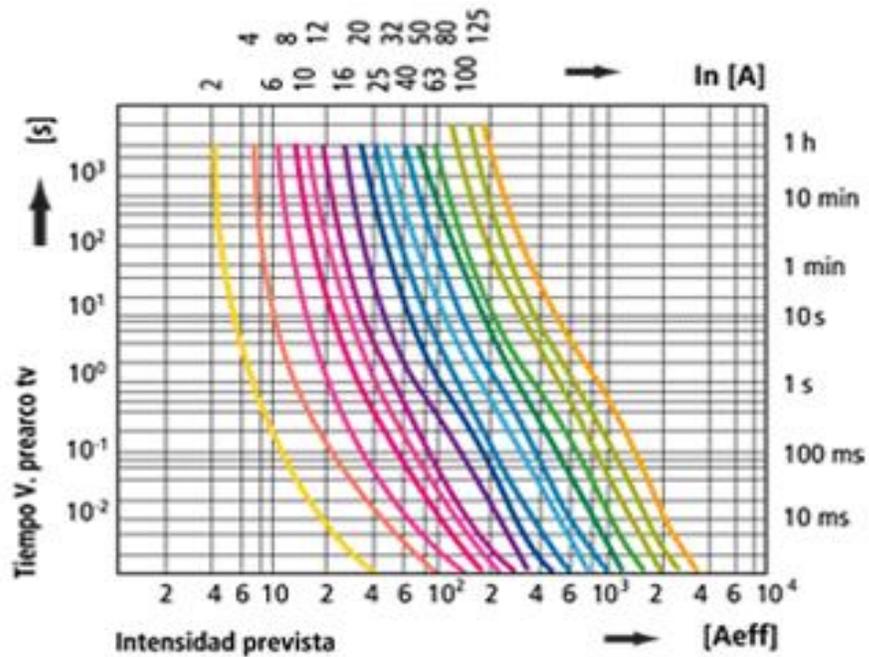


Figura 3. Curva TIEMPO-CORRIENTE DE FUSION para fusibles.

Fuente: SASSIN ELECTRIC

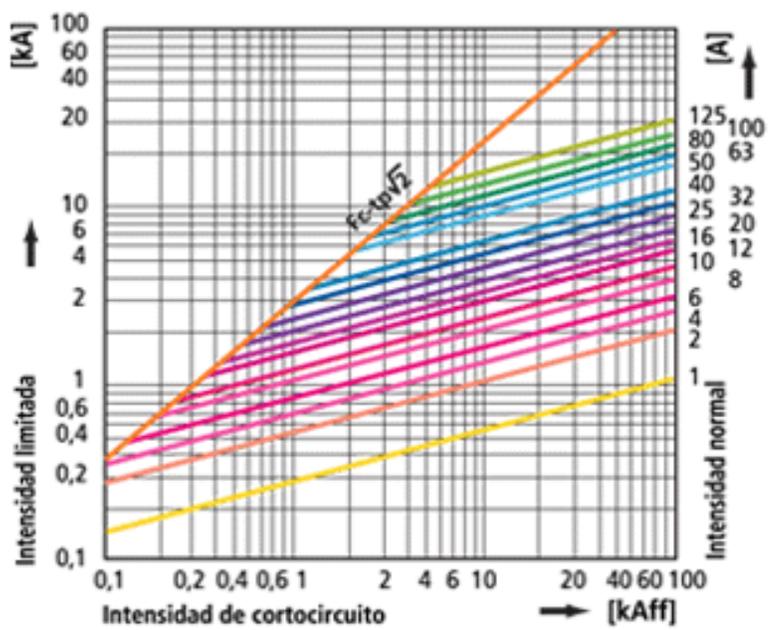


Figura 4. Curva de Efecto de Limitación de Corriente.

Fuente: SASSIN ELECTRIC

4. CAPITULO IV: PORCENTAJE DE OCUPACION DE LA TUBERIA Y BANDEJAS PORTACABLES.

4.1 CALCULO DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA.

El diámetro de la ducteria dependerá de lo establecido en la norma NTC-2050 CAPITULO 9 TABLA 1 “Porcentaje de la sección transversal en tubos Conduit y tuberías, para el llenado de conductores”.

Tabla 8. Porcentaje de la Sección Transversal en tubos Conduit.

Número de conductores	1	2	Más de 2
Todos los tipos de conductores	53%	31%	40%

Fuente: NTC-2050, Capitulo # 9, Página 915.

Cabe anotar que existen diferentes porcentajes de llenado para tuberías dependiendo del tipo de material en tubería EMT, IMC, Galvanizada, etc. El porcentaje de llenado es mucho menor que en un tubo de PVC, también existirán factores como el ambiente o las condiciones especiales de la instalación.

Para calcular el porcentaje de ocupación de los tubos se emplea la siguiente fórmula:

$$\%OC = \frac{\Sigma ATC}{ATT} * 100 \quad \text{Ecuación \# 21.}$$

Donde:

%OC = Porcentaje de ocupación de la tubería.

Σ ATC = Sumatoria de las áreas transversales de cada cable.

$$ATC = \frac{3,1416}{4} * DEC^2 \quad \text{Ecuación \# 22.}$$

ATC: Área transversal del cable.

DEC: Diámetro exterior del cable.

ATT = Área transversal interna del tubo.

$$ATT = \frac{\pi}{4} * DIT^2 \quad \text{Ecuación \# 23.}$$

DIT = Diámetro interno del tubo.

FUENTE: Manual de instalaciones eléctricas en sistemas de baja tensión de Condumex

4.2 CALCULO DEL TAMAÑO DE LA BANDEJA.

Para la utilización de bandejas Portacables utilizaremos el CAPITULO 3 de la norma NTC-2050, sección 318. BANDEJAS PORTACABLES.

Para la elección de la bandeja Portacables es necesario primeramente tener una serie de datos:

- Sección de los cables a llevar por la bandeja
- Características del ambiente donde se montarán. (Ciudad, marino, industrial, corrosivo, no corrosivos, etc.)

Para el primer punto debemos conocer la sección útil aplicando la siguiente fórmula:

$$SEC = \frac{K(100+e)}{100} \Sigma n \quad \text{Ecuación \# 24.}$$

Donde:

SEC= Sección útil en mm² de la bandeja.

K= Coeficiente de apilamiento de los cables que para cables mayores a 2.5mm² es de 1.4 y para cables menores 2.5mm² se deberá considerar 1.2

e= Reserva de espacio en % para futuras ampliaciones. Por reglamentación, este valor debe ser como mínimo un 20%

Σn = Sumatoria de las secciones de los cables a instalar en la bandeja

Para el segundo punto se deberá de consultar la norma y evaluar qué tipo de bandeja es la más adecuada según sea el escenario donde se realizara la instalación.

5. CAPITULO V: PUESTA A TIERRA

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó la “SECCION 250: PUESTA A TIERRA” de la norma NTC-2050, teniendo en cuenta todas las recomendaciones de construcción de un sistema de puesta a tierra.

Un sistema de puesta a tierra está conformado por la unión de todos los conductores de puesta a tierra de todos y cada uno de los equipos, estructura metálicas y tableros eléctricos de un sistema eléctrico.

Este debe de conectarse a una o varias puestas a tierra de resistencia óhmica baja, con esto obtenemos una condición equipotencial entre todos los equipos, ofreciendo así un camino de baja impedancia para las descargas atmosféricas y un camino de retorno en circuitos eléctricos y electrónicos.

En la construcción de un sistema de puesta a tierra debemos de considerar lo siguiente:

1. Los espacios típicos entre conductores de la malla de tierra (d) deberán de estar en el siguiente rango:

$$15m > d > 3m$$

2. La profundidad típica (h) debe de estar en el rango:

$$1.5m > h \geq 0.5 m$$

3. El calibre de los conductores (calibre) debe de estar en el rango:

$$500 MCM > calibre \geq 2/0 AWG$$

El área del sistema de puesta a tierra es el factor más importante en la determinación de la resistencia de malla. Entre mayor sea el área, menor será la resistencia de la malla, y por lo tanto, es menor la elevación del potencial de tierra.

Utilizaremos el método expuesto en la norma IEEE-80-2000: “Guide for safety in AC subestación grounding”, para realizar el cálculo de la malla a tierra.

5.1 PASOS PARA CALCULAR EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA UTILIZANDO EL STANDARD IEEE 80-2000

5.1.1 Datos del terreno.

Se determinará el área de la malla a tierra ancho – largo, y la resistividad del terreno. La resistencia de la malla está directamente relacionado con la resistividad del terreno, lo cual variará horizontal y verticalmente. Es necesario reunir suficientes datos relacionados con el área de construcción de la subestación, con base en mediciones directas de resistividad utilizando un telurómetro.

Para medir la resistividad del suelo utilizaremos el método de WENNER.

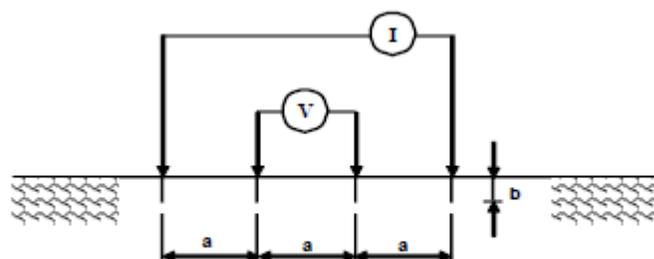


Figura 15.4. Esquema de medición de resistividad aparente

Figura 5. Modelos del montaje del método de Wenner.

Fuente: RETIE, Artículo 15.5, Página 66.

Los cuatro electrodos son clavados en la tierra en línea recta a una profundidad “b”, separados a una distancia “a”. La tensión entre los dos terminales interiores (o de

potencial) es luego medido y dividido por la corriente entre los dos terminales exteriores (o de corriente) para dar el valor de la resistencia R, que aparece indicada en el telurómetro. Luego se aplica la siguiente fórmula:

$$\rho_a = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} + \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad \text{Ecuación \# 25.}$$

Donde:

ρ_a = Resistividad aparente del suelo ($\Omega - m$).

R = Resistencia medida en Ω .

a = Distancia entre electrodos adyacentes en mts.

b = Profundidad de los electrodos en mts.

Si $b \ll a$, como es el caso más común:

$$\rho_a = 2\pi a R \quad \text{Ecuación \# 26.}$$

5.1.2 Tamaño del conductor.

Para esto utilizaremos la siguiente formula:

$$A_{mm^2} = I \sqrt{\frac{t_c a_r \rho_r 10^4}{\frac{TCAP}{Ln\left[1 + \left(\frac{T_m + T_a}{K_o + T_a}\right)\right]}}} \quad \text{Ecuación \# 27.}$$

Donde:

I = Corriente en rms expresada en kA .

A_{mm^2} = Sección del conductor en mm^2 .

T_m = máxima temperatura en °C.

T_a = temperatura ambiente en °C.

T_r = temperatura de referencia para los materiales en °C.

a_0 = coeficiente térmico de la resistividad a 0°C.

a_r = coeficiente térmico de la resistividad a T_r

ρ_r = la resistividad del conductor a T_r en $\mu\Omega/\text{cm}$

$$K_0 = \frac{1}{a_0}$$

T_c = tiempo de circulación de la corriente en S.

TCAP = factor de capacidad térmica en $\text{J} / \text{cm}^3 / ^\circ\text{C}$

Donde:

$$I = 226.53 * S_{\text{cobre}} * \sqrt{\left(\frac{1}{t_{\text{defecto}}}\right)} * L_n \left\{ \frac{(T_m - T_a)}{(234 + T_a) + 1} \right\} \quad \text{Ecuación \# 28.}$$

El valor de T_m está limitado por el tipo de conexión utilizada:

Soldadura exotérmica. $T_m = 850$ °C

Soldadura convencional. $T_m = 450$ °C

$T_a = T$ ambiente en °C

5.1.3 Calculo de tensión de paso admisible y tensión de toque admisible.

$$E_{\text{paso_adm}} = (1000 + 6C_s\rho_s) * \frac{k}{\sqrt{t_s}} \quad \text{Ecuación \# 29.}$$

$$E_{\text{toque_adm}} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) * \frac{k}{\sqrt{t_s}} \quad \text{Ecuación \# 30.}$$

Donde:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 * \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09} \quad \text{Ecuación \# 31.}$$

Donde:

C_s → Factor de disminución de la capa superficial.

ρ → Resistividad del terreno (Ω -m).

ρ_s → Resistividad de la capa superficial (Ω -m).

h_s → Espesor de la capa superficial.

K factor de reflexión

Donde:

K= 0.116 peso de 50kg

K= 0.157 peso de 70kg

5.1.4 Diseño preliminar del SPT.

En este punto tenemos unos parámetros de diseño básicos, preliminares de la malla de tierra que necesitaremos, pero es necesario considerar otras variables las cuales, serán explicadas en los siguientes puntos.

5.1.5 Resistencia de la malla a tierra.

La resistencia de una malla de puesta a tierra fue formulada por Sverak como:

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20A}} \right) \right] \quad \text{Ecuación \# 32.}$$

Donde:

L → Longitud total de conductores enterrados en m.

ρ → Resistividad del terreno Ω -m.

A → Área ocupada por la malla de tierra m².

h → Profundidad de la malla en m.

5.1.6 Corriente de la malla.

El valor máximo de diseño de la corriente de falla a tierra que fluye a través de la malla de la subestación hasta la tierra circundante está dado por:

$$I_G = I_F * D_F * S_F * C_P \quad \text{Ecuación \# 33.}$$

Donde:

$I_F = 3I_0$ → Corriente simétrica de falla a tierra en A. / I_0 = Valor RMS de secuencia cero de la corriente simétrica de falla en A.

D_f → Factor de decremento para tener en cuenta la componente DC.

S_f → Factor de división de corriente.

C_P → Factor de crecimiento futuro de la subestación, considera el incremento futuro de la corriente de falla.

5.1.6.1 Corriente de falla a tierra. I_f

Por razones prácticas, se recomienda hallar los siguientes tipos de falla:

- Falla línea – línea – tierra, ignorando la resistencia de la falla y la resistencia de puesta a tierra de la subestación:

$$(I_F)_{L-L-T} = 3I_O = \frac{3 \cdot E \cdot Z_2}{Z_1 \cdot (Z_0 + Z_2) + Z_2 \cdot Z_0} \quad \text{Ecuación \# 34.}$$

- Falla línea – tierra, ignorando la resistencia de la falla y la resistencia de puesta a tierra de la subestación:

$$(I_F)_{L-T} = 3I_O = \frac{3E}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \quad \text{Ecuación \# 35.}$$

Donde:

I_O → Valor RMS de secuencia cero de la corriente simétrica de falla en A.

E → Tensión fase – neutro RMS en V.

Z_1 → Impedancia equivalente de secuencia (+) del sistema en el punto de falla.

Z_2 → Impedancia equivalente de secuencia (-) del sistema en el punto de falla.

Z_0 → Impedancia equivalente de secuencia (0) del sistema en el punto de falla.

5.1.6.2 Factor de decremento D_f .

En el diseño de la malla a tierra, se debe considerar la corriente asimétrica de falla, la cual resulta de multiplicar la corriente simétrica de falla por el factor de decremento, que a su vez está dado por:

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{T_f}} \left(1 - e^{-\frac{2t_f}{T_a}}\right) \quad \text{Ecuación \# 36.}$$

Donde:

t_f → Duración de la falla en s.

T_a → Constante de tiempo de la componente DC.

$$T_a = \frac{X}{wR} = \frac{X}{R} * \frac{1}{2\pi f} \quad \text{Ecuación \# 37.}$$

X, R → Componentes de la impedancia subtransitoria de falla que se usan para determinar la relación X/R.

5.1.6.3 Factor de Crecimiento Cp.

Si la malla de puesta a tierra se construye teniendo en cuenta la capacidad total de la subestación, y no se consideran aumentos futuros de carga ni de alimentadores, CP = 1.

5.1.7 Calculo del factor de división de corriente Sf.

$$(Sf)_{x/y} = \left| \frac{(Z_{eq})_{x/y}}{R_g + (Z_{eq})_{x/y}} \right| \quad \text{Ecuación \# 38.}$$

Donde:

$(Z_{eq})_{X/Y}$ → impedancia equivalente de X cables de guarda de líneas de transmisión e Y neutros de alimentadores de distribución.

R_g → resistencia del sistema de puesta a tierra de la subestación.

5.1.8 Primera condicional del diseño.

$$GPR = I_g * R_g \quad \text{Ecuación \# 39.}$$

Si

$$GPR < E_{toque_adm} \quad \text{Ecuación \# 40.}$$

Donde:

GPR = Elevación de potencial de tierra.

Entonces el diseño cumple,

Si no cumple continuamos con el paso # 5.1.9.

5.1.9 Calcular Tensión Real de Malla y Tensión Real de Paso.

5.1.9.1 Tensión Real de la Malla.

El valor de la tensión real de la malla se obtiene mediante la expresión:

$$E_m = \frac{\rho * I_G * K_m * K_i}{L_M} \quad \text{Ecuación \# 41.}$$

Donde:

K_m → Valor geométrico de espaciamiento de la malla, calculado así:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd_c} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd_c} - \frac{h}{4d_c} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \left(\frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right] \quad \text{Ecuación \# 42.}$$

Para mallas con varillas de tierra a lo largo del perímetro, o para mallas con varias varillas de tierra en las esquinas, así como para ambas, $K_{ii} = 1$; donde K_{ii} es un factor de corrección que ajusta los efectos de los conductores sobre la esquina de la malla.

Para mallas sin varillas de tierra, o sólo unas pocas, ninguna localizada en las esquinas o sobre el período:

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}} \quad \text{Ecuación \# 43.}$$

K_h es un factor de corrección que tiene en cuenta los efectos de la profundidad de la malla, dado por:

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \text{ con } h_0 = 1m \quad \text{Ecuación \# 44.}$$

n representa el número de conductores paralelos de una malla rectangular equivalente, y está dado por:

$$n = n_a * n_b * n_c * n_d \quad \text{Ecuación \# 45.}$$

$$n_a = \frac{2Lc}{Lp} ; n_b = \sqrt{\frac{Lp}{4\sqrt{A}}} ; n_c = \left| \frac{Lx*Ly}{A} \right|^{\frac{0,7A}{Lx*Ly}} ; n_d = \frac{D_m}{\sqrt{Lx^2 + Ly^2}} \quad \text{Ecuación \# 46.}$$

Para mallas cuadradas: $n = n_a$ ya que $n_b = n_c = n_d = 1$

Para mallas rectangulares: $n = n_a \cdot n_b$ ya que $n_c = n_d = 1$

Para mallas en forma de L: $n = n_a \cdot n_b \cdot n_c$ ya que $n_d = 1$

Donde:

$L_c \rightarrow$ Longitud total de los conductores de la malla horizontal en m.

$L_p \rightarrow$ Longitud del perímetro de la malla en m.

$L_x \rightarrow$ Longitud máxima de la malla en la dirección X, en m.

$L_y \rightarrow$ Longitud máxima de la malla en la dirección Y, en m.

$D_m \rightarrow$ Distancia máxima entre dos puntos cualesquiera de la malla, en m.

K_i es el factor de irregularidad y se define como:

$$K_i = 0,644 + 0,148n \quad \text{Ecuación \# 47.}$$

Para mallas sin varillas de tierra o para mallas con sólo unas pocas varillas esparcidas a través de la malla pero ninguna localizada en las esquinas o a lo largo del perímetro, la longitud efectiva enterrada (L_M) es:

$$L_M = L_C + L_R \quad \text{Ecuación \# 48.}$$

Donde:

$L_R = n_r L_r \rightarrow$ Longitud total de todas las varillas.

$n_r \rightarrow$ Numero de varillas.

$L_r \rightarrow$ Longitud de cada varilla.

Para mallas con muchas varillas de tierra en las esquinas, así como a lo largo del perímetro, la longitud efectiva enterrada (L_M) es:

$$L_M = L_C + \left| 1,55 + 1,22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right| L_R \quad \text{Ecuación \# 49.}$$

5.1.9.2 Tensión Real de Paso.

El valor de tensión real de paso se calcula mediante:

$$E_P = \frac{\rho * I_G * K_S * K_i}{L_S} \quad \text{Ecuación \# 50.}$$

Para mallas con o sin varillas de tierra, la longitud efectiva del conductor enterrado L_S es:

$$L_S = 0,75L_C + 0,85L_R \quad \text{Ecuación \# 51.}$$

Se asume que el EP máximo ocurre sobre una distancia de 1m hacia fuera del conductor perimetral en el ángulo que bisecta la esquina más extrema de la malla.

El valor de K_S se calcula si:

$$K_S = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right] \quad \text{Ecuación \# 52.}$$

Esta ecuación es válida para profundidades de enterramiento de $0.25\text{m} < h < 2.5\text{m}$.

5.1.10 Segundo Condicional del diseño.

Si

$$E_{RM} < E_{toque_admi} \quad \text{Ecuación \# 53.}$$

$$E_{RP} < E_{paso_admi} \quad \text{Ecuación \# 54.}$$

Entonces el diseño cumple.

Si no, volver al paso # 5.1.5

Debemos de considerar la puesta a tierra de los circuitos ramales y alimentadores del sistema eléctrico como parte del sistema de puesta a tierra, por lo cual es necesario hacer una buena selección de los conductores de tierra, para la selección

de los conductores de tierra, se tomó en cuenta las recomendaciones de la norma NTC-2050.

Tabla 9. Conductores de puesta a tierra teniendo en cuenta su material.

Tabla 250-94. Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de c.a.

Sección Transversal del mayor conductor de acometida o su equivalente para conductores en paralelo				Sección transversal (calibre) del conductor al electrodo de puesta a tierra			
Cobre		Aluminio o aluminio recubierto de cobre		Cobre		Aluminio o aluminio revestido de cobre *	
mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o Kcmils	mm ²	AWG o Kcmils	mm ²	AWG o Kcmils
33,62 o menor	2 o menor	53,5 o menor	1/0 o menor	8,36	8	13,29	6
42,2 o 53,5	1 o 1/0	67,44 o 85,02	2/0 o 3/0	13,29	6	21,14	4
67,44 o 85,02 hasta 177,34	2/0 o 3/0 hasta 350 kcmil	107,21 o 126,67 hasta 253,35	4/0 o 250 kcmil hasta 300 a 500 kcmil	21,14 hasta 33,62	4 hasta 2	33,62 hasta 53,50	2 hasta 1/0
202,68 a 304,02 hasta 608,04 y más	400 a 600 kcmil hasta 1200 kcmil y más	278,68 a 456,03 hasta 912,06 y más	550 a 900 kcmil hasta 1000 a 1 750 kcmil hasta 1800 y más kcmil	53,50 hasta 85,02	1/0 hasta 3/0	85,02 hasta 126,67	3/0 hasta 250 kcmil

* Véanse las limitaciones de instalación en el Artículo 250-92.a).

Fuente: NTC 2050, Capítulo 2, Página 138

Tabla 10. Calibre de conductores de puesta a tierra en base a la corriente.

Tabla 250-95. Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos

Corriente nominal o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, tubos conduit, etc. (A)	Sección Transversal			
	Alambre de cobre		Alambre de aluminio o de aluminio revestido de cobre *	
	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil
15	2,08	14	3,30	12
20	3,30	12	5,25	10
30	5,25	10	8,36	8
40	5,25	10	8,36	8
60	5,25	10	8,36	8
100	8,36	8	13,29	6
200	13,29	6	21,14	4
300	21,14	4	33,62	2
400	26,66	3	42,20	1
500	33,62	2	53,50	1/0
600	42,20	1	67,44	2/0
800	53,50	1/0	85,02	3/0
1.000	67,44	2/0	107,21	4/0
1.200	85,02	3/0	126,67	250 kcmil
1.600	107,21	4/0	177,34	350 kcmil
2.000	126,67	250 kcmil	202,68	400 kcmil
2.500	177,34	350 kcmil	304,02	600 kcmil
3.000	202,68	400 kcmil	304,02	600 kcmil
4.000	253,25	500 kcmil	405,36	800 kcmil
5.000	354,69	700 kcmil	608,04	1.200 kcmil
6.000	405,36	800 kcmil	608,04	1.200 kcmil

* Véanse limitaciones a la instalación en el Artículo 250-92.a).

Nota. Para cumplir lo establecido en el Artículo 250-51, los conductores de puesta a tierra de los equipos podrían ser de mayor calibre que el especificado en esta Tabla.

Fuente: NTC 2050, Capítulo 2, Página 140

6. CAPITULO VI: APANTALLAMIENTO

Las descargas eléctricas atmosféricas mejor conocidas como rayos son un fenómeno natural que varía dependiendo de la época del año y de la ubicación en el terreno, esto se puede determinar por medio del nivel cerámico de las zonas. No existen en la actualidad dispositivos, ni métodos capaces de evitarlos, pero sí de prevenirlos. Los rayos que impactan en las estructuras, las acometidas de servicios domiciliarios (energía, acueducto, telecomunicaciones) o cerca del suelo, son altamente peligrosos. Por lo tanto debe ser considerada la aplicación de medidas de protección contra rayos.

En la primera parte de la elaboración de cualquier sistema de protección contra descargas atmosféricas, se debe de realizar una valoración de la necesidad de implementar un sistema de protección, esto se hará con la simulación del Software IEC Risk Assessment Calculator 3.0.3 que evaluará el riesgo y la necesidad de implementar un sistema de protección analizando los daños que causaría en la edificación. Una vez se obtiene la evaluación de riesgo de la estructura se selecciona las medidas de protección apropiadas que se adoptarán para reducir los riesgos existentes y el respectivo diseño del sistema de protección.

6.1 ANALISIS DE RIESGO POR DESCARGAS ATMOSFERICAS.

La decisión para proteger una estructura contra descargas atmosféricas, así como las medidas de protección seleccionadas, deberán ser realizadas de acuerdo con la NTC 4552 y con la IEC 62305-2. A partir de esto debemos de considerar lo siguiente:

- Identificar el objeto a proteger y sus características.
- Identificar todos los tipos de pérdidas en los objetos y riesgos pertinentes correspondientes.

- Identificar el riesgo para cada tipo de pérdida.

Una vez identificados estos parámetros procedemos a identificar la estructura teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- La estructura misma
- Las instalaciones dentro de la estructura
- El contenido de la estructura
- Las personas dentro de la estructura o que permanezcan en zonas aledañas hasta 3 m fuera de la estructura.
- Ambientes afectados por un daño en la estructura

Todos estos parámetros son necesarios para evaluar dos cosas importantes para la selección del sistema de protección contra descargas las cuales son:

- El nivel de riesgo al cual está expuesto la estructura.
- El tipo de método que será utilizado para proteger la estructura.

Para hacer más sencillo estas consideraciones utilizaremos el Software IEC Risk Assessment Calculator. 3.0.3

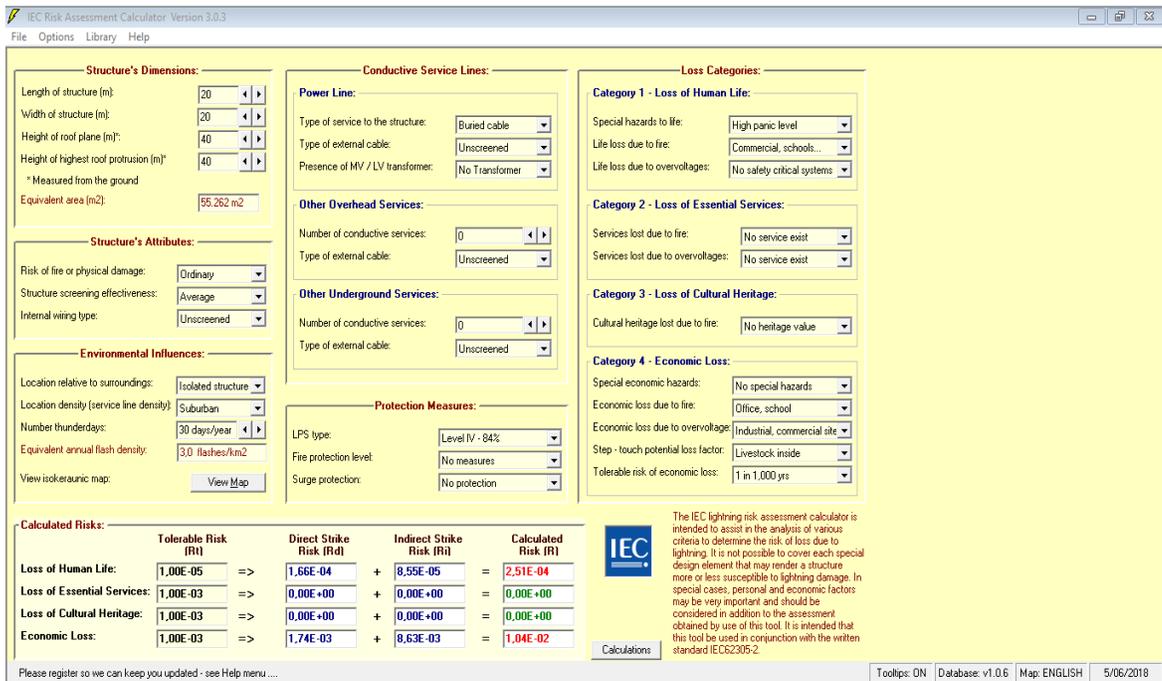


Figura 6. Interfaz gráfica del software IEC Risk Assessment Calculator.

Fuente: Software IEC Risk Assessment Calculator.

Una vez obtenido el nivel de riesgo de la estructura procedemos a seleccionar el método de protección y los cálculos pertinentes para su implementación en la estructura.

6.2 METODOS DE PROTECCION AEREA PARA DESCARGAS ATMOSFERICAS.

El método de protección aérea más utilizado, es el método electrogeométrico, el cual está dividido en tres métodos de captación aérea los cuales se basan en la protección de la estructura mediante puntas de captación y conductores conectados a tierra. Esto con el fin de garantizar que cada una de las zonas expuestas de la estructura esté totalmente protegida.

6.2.1 Método electrogeométrico.

El método electrogeométrico, es un análisis matemático cuyo fin es el de probar que tan eficiente resulta un sistema de apantallamiento, previniendo o evitando totalmente el impacto del rayo en un área o zona determinada.

La principal hipótesis en que se basa el método es que la carga espacial contenida en el líder escalonado, previo a la descarga de retorno, está relacionada con la magnitud de la corriente de la descarga.

Los métodos desarrollados a partir del método electrogeométrico que permiten implementar de forma independiente o combinada cada uno de los sistemas de captación son:

- Método de la esfera rodante (MER).
- Método del ángulo de protección (MAP).
- Método del enmallado (ME).

Todos y cada uno de estos métodos pueden ser implementados por separado o en conjunto, esto depende de las características de la estructura a proteger, es por esto que se debe de hacer énfasis en la evaluación de riesgo del sistema, porque esto puede afectar tanto la eficiencia del sistema como los costos del mismo.

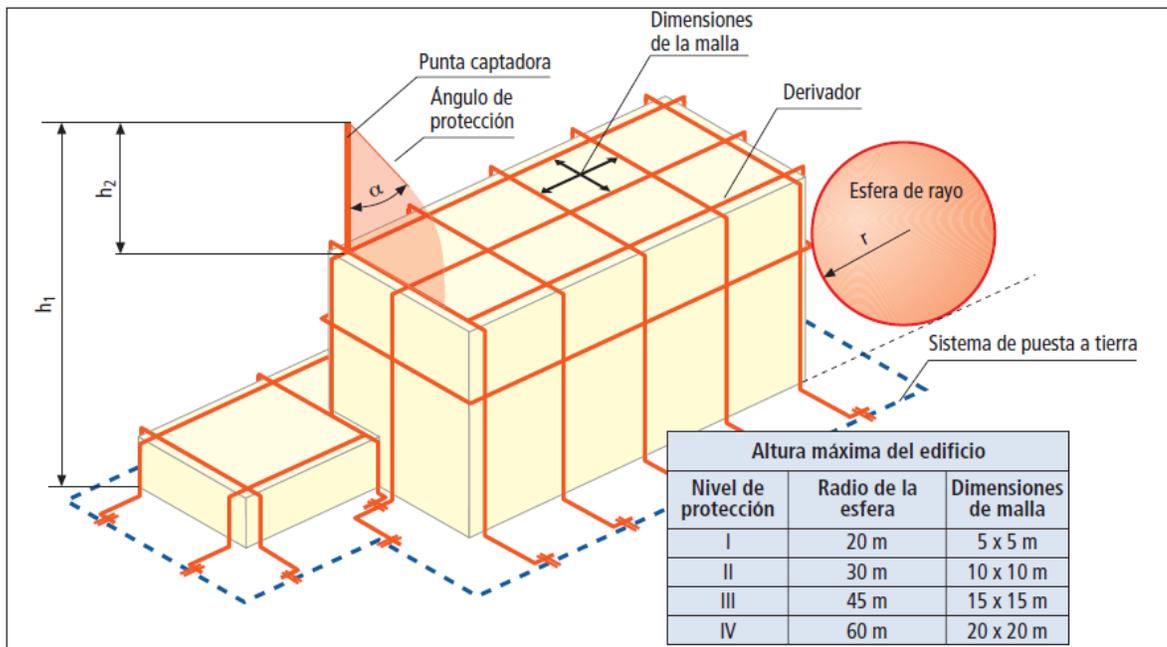


Figura 7. Métodos de diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas.

Fuente: MANUAL DE PROTECCION CONTRA RAYOS, DEHN. Capítulo 5, Página 48.

6.2.1.1 Método de la esfera rodante.

Este método fue introducido en la norma húngara de protección contra rayo de 1962. Los primeros estudios realizados se realizaron en 1970 en los Estados Unidos. Fue en 1978, cuando se implementó para la protección contra el impacto de descargas atmosféricas en los conductores de las líneas de transmisión de energía eléctrica.

Se introdujo en la NFPA 780 en la edición de 1980, en la actualidad, es el método que más se usa en la construcción de sistemas de apantallamiento.

Este método parte de las siguientes suposiciones fundamentales:

- El punto de impacto del rayo se determina cuando el líder descendente se aproxima a la tierra o a una estructura a la distancia de impacto.

- El rayo impacta al objeto en la tierra que se encuentre más cerca de su punto de discriminación y, por tanto, la peor posición es cuando el centro de una esfera es común a varios objetos en la tierra.

Como el radio de la esfera y la distancia de impacto están relacionados con la corriente del rayo, estas suposiciones permiten concluir que el rayo no impactará una estructura protegida si su distancia de impacto es mayor que el radio de la esfera.

En una primera aproximación existe una proporcionalidad entre el valor cresta de la corriente de rayo y la carga eléctrica acumulada en la descarga descendente. Asimismo, también el campo eléctrico del suelo, al aproximarse la descarga descendente creciente, en un primer momento, depende linealmente de la carga acumulada en la misma. De este modo, existe una proporcionalidad entre el valor de cresta de la corriente de rayo y la distancia final de descarga.

$$r = 10I^{0,65} \quad \text{Ecuación \# 55.}$$

Donde:

$r =$ en metros (m) = radio de la esfera rodante.

$I =$ en kiloamperios (kA)

La protección contra rayos en edificios está descrita en la norma UNE EN 62305-1 (IEC 62305-1). Esta norma define, entre otras cosas, la clasificación de los sistemas de protección y fija las medidas de protección contra rayos correspondientes a cada caso.

Tabla 11. Radio de la esfera rodante según el nivel de riesgo calculado.

Nivel de riesgo LPL	Probabilidades para los valores límite de la corriente de rayo		Radio de la esfera rodante (Distancia final de descarga h_B) - r en m	Valor cresta mínimo de la corriente - I en kA
	<Valores máximos según tabla 5 UNE EN 62305-1	>Valores mínimos según tabla 6 UNE EN 62305-1		
IV	0.84	0.97	60	16
III	0.91	0.97	45	10
II	0.97	0.98	30	5
I	0.99	0.99	20	3

Fuente: TABLAS 5,6 Y 7 DE LA NORMA IEC-62305-1

Aplicando este método, el posicionamiento de los captadores es adecuado si ningún punto de la estructura a proteger hace contacto con la esfera de radio R. De esta manera, la esfera sólo toca el sistema de captura.

Sabiendo esto podemos aplicar la siguiente fórmula:

$$r = \sqrt{d_s^2 - (d_s - h)^2} = \sqrt{h(2d_s - h)} \quad \text{Ecuación \# 56.}$$

Donde:

d_s = distancia de impacto = radio de la esfera rodante

h = altura relativa del captador

Sim embargo esto no está completo sin considerar la profundidad de penetración de la esfera rodante, esta determina que tanto contacto hay en la parte superior de dos captadores alineados o paralelos.

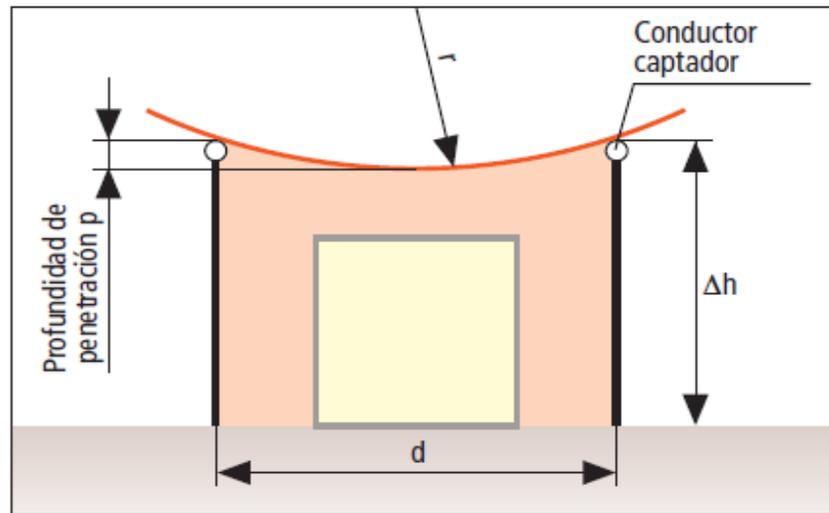


Figura 8. Profundidad de penetración de la esfera rodante.

Fuente: MANUAL DE PROTECCION CONTRA RAYOS, DEHN, Capitulo 5, página 52

La profundidad de penetración de la esfera rodante es determinante en el dimensionado de los dispositivos captadores para un edificio o para una instalación dispuesta sobre la cubierta. Con la fórmula siguiente se puede calcular la profundidad de penetración p de la esfera rodante.

$$p = r - [r^2 - (d/2)^2]^{1/2} \quad \text{Ecuación \# 57.}$$

Donde:

p = profundidad de penetración de la esfera rodante

r = radio de la esfera rodante

d = distancia entre dos puntas captoras

Cuando se pretende proteger la superficie de la cubierta o estructuras montadas sobre la misma contra descargas directas de rayo, suelen utilizarse normalmente puntas captadoras. Con la disposición en forma de cuadrado de las puntas

captadoras que, por lo general no están unidas mediante cables tensados, la esfera no se desliza “sobre raíles” sino que “penetra más profundamente”.

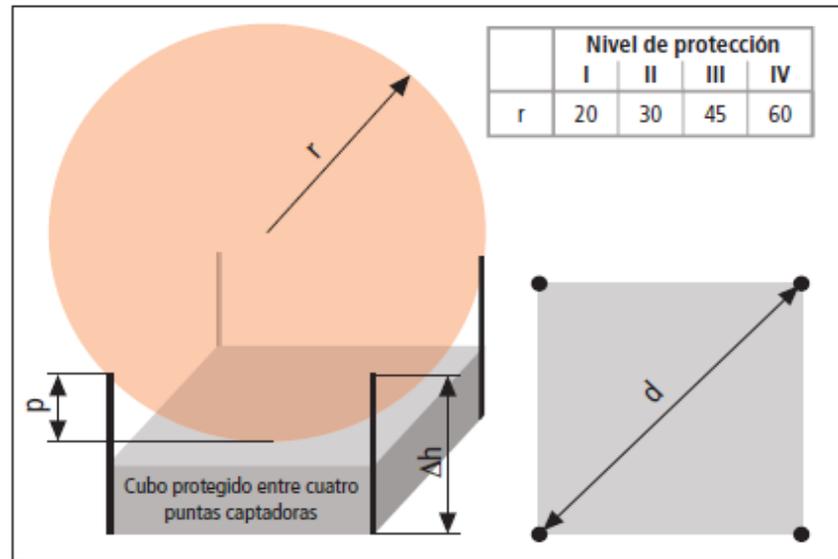


Figura 9. Dispositivos captadores para estructuras en cubierta con su correspondiente espacio protegido.

Fuente: MANUAL DE PROTECCION CONTRA RAYOS, DEHN, capítulo 5, página 52

La altura de las puntas captadoras Δh debe ser superior a la profundidad de penetración p y por tanto mayor que la penetración de la esfera de rayo. Con esta altura complementaria de las puntas captadoras se garantiza que la esfera rodante no llegue a tocar el objeto que se pretende proteger.

Otra posibilidad para calcular la altura de las puntas captadoras se recoge en la tabla 7. La profundidad de penetración de la esfera rodante viene dada por la mayor distancia existente entre las puntas captadoras.

Tabla 12. Penetración de la esfera rodante en caso de dos puntas captoras o dos captores paralelos.

d	Penetración de la esfera rodante (m) (redondeada)			
Distancia entre puntas captadoras	Nivel de protección con radio de la esfera rodante en metros			
	I (20 m)	II (30 m)	III (45 m)	IV (60 m)
2	0.03	0.02	0.01	0.01
4	0.10	0.07	0.04	0.03
6	0.23	0.15	0.10	0.08
8	0.40	0.27	0.18	0.13
10	0.64	0.42	0.28	0.21
12	0.92	0.61	0.40	0.30
14	1.27	0.83	0.55	0.41
16	1.67	1.09	0.72	0.54
18	2.14	1.38	0.91	0.68
20	2.68	1.72	1.13	0.84
23	3.64	2.29	1.49	1.11
26	4.80	2.96	1.92	1.43
29	6.23	3.74	2.40	1.78
32	8.00	4.62	2.94	2.17
35	10.32	5.63	3.54	2.61

Fuente: MANUAL DE PROTECCION CONTRA RAYOS, DEHN, Capitulo 5, Página 53

Usando la distancia máxima, la profundidad de penetración p puede obtenerse de la tabla. Las puntas captadoras deben dimensionarse de acuerdo con la altura de la instalación a proteger (en relación con el lugar de emplazamiento de la punta captadora) y con la profundidad de penetración de la esfera rodante.

Cuando se aplica el método de la esfera rodante a un edificio de mayor altura que el radio de la esfera, ésta toca los bordes verticales de los laterales del edificio por encima de una altura igual al radio de la esfera.

Esto indica la posibilidad de impactos en los laterales del edificio y, por tanto, la necesidad de colocar captadores en estas localizaciones. Los estudios demuestran que aunque ocurren impactos laterales en los bordes verticales de edificios altos, la probabilidad de estos decrece rápidamente con la altura del punto de impacto medida desde el terreno.

Para estructuras con altura inferior a 60 m, esta probabilidad de descargas laterales es despreciable y para altura superior a 60 m, la mayoría de las descargas golpearán la cubierta, los bordes horizontales y las esquinas de la estructura.

Sólo un pequeño porcentaje de las descargas serán en los lados de la estructura, por ello, debe considerarse la instalación de captadores laterales en la parte más alta (típicamente en el 20 % superior de la altura de la estructura).

En este caso, para el posicionamiento del sistema de captura de la parte superior de la estructura solo será aplicable el método de la esfera rodante.

7. CAPITULO VII: CALCULOS ELECTRICOS

En base a la información recopilada realizaremos los diseños eléctricos del edificio Palmetto Sunsett, a través de la herramienta de cálculo EXCEL 2013 de Microsoft Office. (Ver Anexos)

7.1 Cuadros de Carga.

7.2 Blindobarras.

7.3 del Transformador.

7.4 Cálculo de la Regulación y Perdidas de la Acometida de Media Tensión para un Transformador de 1000 KVA.

7.5 Cálculo de la Protección de Media Tensión.

7.6 Cálculo de Baja Tensión para Transformado de 1000 KVA.

7.7 Cálculo de la Acometida de Baja Tensión desde Planta de Emergencia de 750 KW (937,5 KVA) stand by, hasta Tablero de Transferencia Automática.

7.8 Cálculo de las Corrientes de Cortocircuito.

7.9 Cálculo y Coordinación de Protecciones contra Sobrecorriente.

7.10 Sistema de Puesta a Tierra.

7.11 Apantallamiento.

CONCLUSIONES

En este proyecto se diseñó del sistema eléctrico del Edificio Palmetto Sunsett, cumpliendo con los objetivos expuestos, en el cual se recopiló las normas nacionales e internacionales; tomando en cuenta que las normas Colombianas son traducciones fidedignas de las normas internacionales.

Se realizaron los diseños eléctricos de las zonas del edificio, con base en los factores de demanda del sistema de acuerdo a la norma NTC-2050, así como el cálculo de la capacidad del transformador de potencia, también se realizaron los cálculos de regulación de tensión de cada circuito ramal, demostrando la gran relación que hay entre la regulación y las pérdidas de potencia en los cables.

La herramienta EXCEL 2013, de Microsoft Office, se enfocó en mostrar la manera adecuada de realizar los cálculos eléctricos con base en los requerimientos de las normas aplicadas en el diseño y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas-RETIE dando resultados muy satisfactorios.

BIBLIOGRAFIA

- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE.
- Norma NTC-2050.
- Norma NFPA 70.
- Norma NTC-4552.
- Contrato de Condiciones Uniformes de ELECTRICARIBE SA E.S.P.
- Norma IEEE STD 80-2000
- IEC 62325
- MANUAL DE PROTECCION CONTRA RAYOS, DEHN.

ANEXOS

ANEXO # 1: CALCULOS ELECTRICOS.

7.1 Cuadros de carga.

CUADRO DE CARGA MB-L01, MB-L02, MB-L03, MB-L03, MB-L04, MB-L05 (LOCALES 1-2-3-4-5) TRIFASICO, 12 CTOS.																												
OBSERVACIONES	CTO	LUCES								VENTILADOR	EXTR	A.A				TOMAS						I [A]	PROT	DUCT	COND			
		LED			FLUORESCENTE							100w	200w	30w	3600w	2400w	1800w	1200w	600w	750w	400w					1000w	400w	100w
		3w	11w	40w	13w	17w	100w	200w																				
LUCES	1			5	1							1												2,03	1x15	1/2"	12	
TOMAS	2																							4	3,33	1x15	1/2"	12
AA	3																								10	1x15	1/2"	12
AVISO	4																								5	1x15	1/2"	12
AA	5																								10	1x15	1/2"	12
	6																								0	1x15	1/2"	12
	7																								0	1x15	1/2"	12
	8																								0	1x15	1/2"	12
	9																								0	1x15	1/2"	12
	10																								0	1x15	1/2"	12
	11																								0	1x15	1/2"	12
	12																								0	1x15	1/2"	12
FASE R	843	W	CORRIENTE		AWG / mm2		8		Prot		ACOMETIDA SELECCIONADA																	
FASE S	1600	W	10,63525428				35,98		3X50		3#8 AWG + 1#8 AWG + 1#6 AWG, THHW, 90C, 600V en Ø 1"																	
FASE T	1200	W	DIST		%CV		0,38048151		Ducto																			
CARGA	3643	W	50						1"																			

TABLERO MEDIDA LOCALES COMERCIALES.																										
TABLERO	LUCES								VENTILADOR		EXTR	TOMACORRIENTES						A.A		CARGA W	AMP [A]	AWG	MTS	%CV	PROT	
	LED			FLUORESCENTES					100W	200W		30W	AVISO 600W	LAV 750W	NEVERA		COCIN A 400W	100W	1200W							
	3W	11W	40W	13W	17W	100W	200W	400W							1000W											
MB-LOCAL 01			5	1							1	1							4	2	3643	10,64	8	25	0,19	3X50
MB-LOCAL 02			5	1							1	1							4	2	3643	10,64	8	32	0,24	3X50
MB-LOCAL 03			5	1							1	1							4	2	3643	10,64	8	34	0,26	3X50
MB-LOCAL 04			2	2							1	1							4	2	3536	10,32	8	42	0,31	3X50
MB-LOCAL 05			2	2							1	1							4	2	3536	10,32	8	45	0,33	3X50
TOTAL	0	0	19	7	0	0	0	0	0		5	5	0	0	0	0	0	0	20	10	18001					
CARGA TOTAL [W]	18001		AMP		WG/MM		DIST [M]		%CV(5%)		PROT		ACOMETIDA SELECCIONADA													
			52,35		8		50		1,88		3X90		3#4AWG+1#4AWG+1#8AWG THHW, 90C, 600V EN Ø 1-1/2"													

CUADRO DE CARGA MB-ZC,(ZONAS COMUNES Y PARQUEADEROS) TRIFASICO, 36 CTOS.

OBSERVACIONES	CTO	LUCES														VENTILADOR		EXTR	A.A				TOMAS						I [A]	PROT	DUCT	COND
		LED			FLUORESCENTE				100w	200w	30w	3600w	2400w	1800w	1200w	AVISO	LAV		NEVERA	COCI	TOM											
		3w	11w	40w	13w	17w	32w	150w	100w	200w	30w	3600w	2400w	1800w	1200w	600w	750w	400w	1000w	400w	100w											
LUCES PARQ P2	1				5			23																	6,68	1x15	1/2"	12				
LUCES HALL ASC 1-9	2				59																					6,39	1x15	1/2"	12			
LUCES PARQ P3	3				2			26																		7,15	1x15	1/2"	12			
LUCES HALL ASC 10 - 16	4				60																					6,5	1x15	1/2"	12			
LUCES PARQ P4	5				2			26																		7,15	1x15	1/2"	12			
LUCES HALL ASC 17 - 22	6				60																					6,5	1x15	1/2"	12			
LUCES PARQ P5	7				2			26																		7,15	1x15	1/2"	12			
LUCES HALL ASC 23 - 28	8				60																					6,5	1x15	1/2"	12			
LUCES PARQ P6	9				2			26																		7,15	1x15	1/2"	12			
LUCES HALL ASC 29 -34	10				60																					6,5	1x15	1/2"	12			
LUCES PARQ P7	11				2			26																		7,15	1x15	1/2"	12			
LUCES HALL ASC 35 -40	12				60																					6,5	1x15	1/2"	12			
LUCES PARQ P8	13				2			26																		7,15	1x15	1/2"	12			
LUCES HALL ASC 41- 43	14				60																					6,5	1x15	1/2"	12			
LUCES ESCA EMER 1-21	15							64																		9,07	1x15	1/2"	12			
LUCES LOBBY	16			17																						5,67	1x15	1/2"	12			
LUCES ESCA EMER 22-44	17							67																		9,49	1x15	1/2"	12			
LUCES TERRAZA-PISCINA	18			27																						9	1x15	1/2"	12			
LUCES ESCA NORM 1-21	19							44																		6,23	1x15	1/2"	12			
LUCES ADMON, BASURA, ASE	20			24	13												1									9,66	1x15	1/2"	12			
LUCES ESCA NORM 22 - 44	21							44																		6,23	1x15	1/2"	12			
APLIQUES TERRAZA, PISCI	22	21						9									1									3,05	1x15	1/2"	12			
AA ADMINISTRACION	23																									10	1x15	1/2"	12			
LUCES ANTEJARDIN	24																12									15	1x15	1/2"	12			
AA ADMINISTRACION	25																									10	1x15	1/2"	12			
LUCES ANTEJARDIN	26																12									15	1x15	1/2"	12			
LUCES AA-DEPOSITO 10-26	27							56																		8,07	1x15	1/2"	12			
TOMAS LOBBY-ADMON	28																									5	4,17	1x15	1/2"	12		
LUCES AA-DEPOSITO 27-43	29							55																		8,96	1x15	1/2"	12			
	30																1									0,25	1x15	1/2"	12			
	31																									0	1x15	1/2"	12			
	32																									0	1x15	1/2"	12			
	33																									0	1x15	1/2"	12			
	34																									0	1x15	1/2"	12			
	35																									0	1x15	1/2"	12			
	36																									0	1x15	1/2"	12			
FASE R	7571	W	CORRIENTE	AWG / mm2		2	Prot		ACOMETIDA SELECCIONADA																							
FASE S	10416	W	78,75576575			86,14	3X80		3#2 AWG + 1#2 AWG + 1#8 AWG, THHW, 90C, 600V en Ø 1-1/2"																							
FASE T	8990	W	DIST	%CV		1,17685871	Ducto																									
CARGA	26977	W	50				1-1/2"																									

CUADRO DE CARGA MB-ZC,(PISO # 9: GIMNASIO-MASAJES-TURCO) TRIFASICO, 36 CTOS.

OBSERVACIONES	CTO	LUCES														VENTILADOR	EXTR	A.A				TOMAS					I [A]	PROT	DUCT	COND			
		LED			FLUORESCENTE				A.A				TUR	A.A	NEVERA			COCI	TOM														
		3w	11w	40w	13w	17w	32w	150w	100w	200w	30w	3200w	2000w	1800w	1200w			1000w	750w	400w	1000w	400w	100w										
LUCES SALON EVEN-AERO	1			22																				7,33	1x15	1/2"	12						
TOMAS EVENTOS	2																							8	6,67	1x15	1/2"	12					
LUCES GIMNASIO-MASAJE	3			22																					7,33	1x15	1/2"	12					
TOMAS GIMNAS-MASAJE	4																								9	7,5	1x15	1/2"	12				
LUCES BAÑOS-LOCKER-TER	5				26	3		1																		4,99	1x15	1/2"	12				
TOMAS BAR	6																									2	6,67	1x15	1/2"	12			
CONDENSADORA SAL EVENT	7											1															26,7	1x15	1/2"	12			
CONDEN MASAJES	8												1															16,7	1x15	1/2"	12		
CONDENSADORA SAL EVENT	9												1															26,7	1x15	1/2"	12		
CONDEN MASAJES	10													1															16,7	1x15	1/2"	12	
CONDENSADORA SAL EVENT	11													1															26,7	1x15	1/2"	12	
CONDEN MASAJES	12														1														16,7	1x15	1/2"	12	
CONDENSADORA GIMNAS	13															1													16,7	1x15	1/2"	12	
AA AEROBICOS	14																1												10	1x15	1/2"	12	
CONDENSADORA GIMNAS	15																	1												16,7	1x15	1/2"	12
AA AEROBICOS	16																		1											10	1x15	1/2"	12
CONDENSADORA GIMNAS	17																													16,7	1x15	1/2"	12
TURCO 1	18																													8,33	1x15	1/2"	12
MANEJADORA EVENT	19																													6,25	1x15	1/2"	12
TURCO 1	20																													8,33	1x15	1/2"	12
MANEJADORA EVENT	21																													6,25	1x15	1/2"	12
TURCO 1	22																													8,33	1x15	1/2"	12
MANEJADORA GIMNA	23																													6,25	1x15	1/2"	12
TURCO 2	24																													8,33	1x15	1/2"	12
MANEJADORA GIMNA	25																													6,25	1x15	1/2"	12
TURCO 2	26																													8,33	1x15	1/2"	12
MANEJADORA MASAJ	27																													6,25	1x15	1/2"	12
TURCO 2	28																													8,33	1x15	1/2"	12
MANEJADORA MASAJ	29																													6,25	1x15	1/2"	12
	30																													0	1x15	1/2"	12
	31																													0	1x15	1/2"	12
	32																													0	1x15	1/2"	12
	33																													0	1x15	1/2"	12
	34																													0	1x15	1/2"	12
	35																													0	1x15	1/2"	12
	36																													0	1x15	1/2"	12
FASE R	13680	W	CORRIENTE	AWG / mm2	3/0	Prot	ACOMETIDA SELECCIONADA																										
FASE S	13299	W	114,9033689		201,55	3X80	3#3/0 AWG + 1#3/0 AWG + 1#6 AWG, THHW, 90C, 600V en ø 2-1/2"																										
FASE T	12380	W	DIST	%CV	0,73383225	Ducto																											
CARGA	39359	W	50			2-1/2"																											

CUADRO DE CARGA MB-02 (APTO-02) (PISOS 10-41) (CANTIDAD:31), MONOFASICO, 24 CTOS.																																			
OBSERVACIONES	CTO	LUCES																VENTILADOR	EXTR	A.A				TOMAS					I [A]	PROT	DUCT	COND			
		LED				FLUORESCENTE														AVISO	LAV	NEVERA	COCI	TOM											
		3w	11w	40w	13w	17w	100w	200w	100w	200w	30w	3600w	2400w	1800w	1200w	600w	750w			400w	1000w	400w	100w												
LUCES BALCON-SALA-COC	1		16																								3,13	1x15	1/2"	12					
TOMA ALC-2 Y BAÑO	2																										7	5,83	1x15	1/2"	12				
LUCES ALCOBAS-BAÑOS	3		11																									3,18	1x15	1/2"	12				
TOMAS ALC-1, BALCON-SALA	4																														12				
AA ALCOBA-1	5																											5	1x15	1/2"	12				
TOMAS COCINA	6																										2	3	9,17	1x15	1/2"	12			
AA ALCOBA-1	7																											5	1x15	1/2"	12				
	8																											0	1x15	1/2"	12				
AA ALCOBA-2	9																											5	1x15	1/2"	12				
TOMA NEVERA	10																											3,33	1x15	1/2"	12				
AA ALCOBA-2	11																											5	1x15	1/2"	12				
TOMA LABORES	12																											2	7,92	1x15	1/2"	12			
AA SALA-COMEDOR	13																														10	1x15	1/2"	12	
	14																															0	1x15	1/2"	12
AA SALA COMEDOR	15																															10	1x15	1/2"	12
	16																															0	1x15	1/2"	12
	17																															0	1x15	1/2"	12
	18																															0	1x15	1/2"	12
	19																															0	1x15	1/2"	12
	20																															0	1x15	1/2"	12
	21																															0	1x15	1/2"	12
	22																															0	1x15	1/2"	12
	23																															0	1x15	1/2"	12
	24																															0	1x15	1/2"	12
FASE R	5557	W	CORRIENTE		AWG / mm2		6		Prot		ACOMETIDA SELECCIONADA																								
FASE S	4150	W	49,02525253		AWG / mm2		46,92		2X60		2#6 AWG + 1#6 AWG + 1#8 AWG, THHW, 90C, 600V en Ø 1"																								
CARGA	9707	W	DIST		%CV		0,31097291		Ducto																		1"								

CUADRO DE CARGA MB-03 Y MB-04 (APTO-03 Y APTO-04) (PISOS 10-36) (CANTIDAD:52), MONOFASICO, 24 CTOS.																																					
OBSERVACIONES	CTO	LUCES																VENTILADOR	EXTR	A.A				TOMAS					I [A]	PROT	DUCT	COND					
		LED				FLUORESCENTE														AVISO	LAV	NEVERA	COCI	TOM													
		3w	11w	40w	13w	17w	100w	200w	100w	200w	30w	3600w	2400w	1800w	1200w	600w	750w			400w	1000w	400w	100w														
LUCES SALA-COMEDOR	1		22																												5,02	1x15	1/2"	12			
TOMAS SALA COMEDOR	2																															12	10	1x15	1/2"	12	
	3																															0	1x15	1/2"	12		
TOMAS COCINA	4																															2	3	9,17	1x15	1/2"	12
AA ALCOBA 1	5																															5	1x15	1/2"	12		
TOMA NEVERA	6																															3,33	1x15	1/2"	12		
AA ALCOBA 1	7																															5	1x15	1/2"	12		
TOMA LABORES	8																															2	7,92	1x15	1/2"	12	
AA SALA-COMEDOR	9																																10	1x15	1/2"	12	
	10																															0	1x15	1/2"	12		
AA SALA-COMEDOR	11																																10	1x15	1/2"	12	
	12																															0	1x15	1/2"	12		
	13																															0	1x15	1/2"	12		
	14																															0	1x15	1/2"	12		
	15																															0	1x15	1/2"	12		
	16																															0	1x15	1/2"	12		
	17																															0	1x15	1/2"	12		
	18																															0	1x15	1/2"	12		
	19																															0	1x15	1/2"	12		
	20																															0	1x15	1/2"	12		
	21																															0	1x15	1/2"	12		
	22																															0	1x15	1/2"	12		
	23																															0	1x15	1/2"	12		
	24																															0	1x15	1/2"	12		
FASE R	4202	W	CORRIENTE		AWG / mm2		6		Prot		ACOMETIDA SELECCIONADA																										
FASE S	3650	W	39,65656566		AWG / mm2		46,92		2X60		2#6 AWG + 1#6 AWG + 1#8 AWG, THHW, 90C, 600V en Ø 1"																										
CARGA	7852	W	DIST		%CV		0,50309247		Ducto																		1"										

CUADRO DE CARGA MB-03A (APTO-03A) (PISOS 36-38) (CANTIDAD:3), MONOFASICO, 24 CTOS.																												
OBSERVACIONES	CTO	LUCES								VENTILADOR	EXTR	A.A				TOMAS					I [A]	PROT	DUCT	COND				
		LED				FLUORESCENTE						3600w	2400w	1800w	1200w	600w	750w	400w	1000w	400w					100w			
		3w	11w	40w	13w	17w	100w	200w	100w																	200w	30w	600w
LUCES SALA-COMEDOR	1		15							1		1											2,46	1x15	1/2"	12		
TOMAS ALC-2, BAÑOS	2																						8	6,67	1x15	1/2"	12	
LUCES ALCOBAS	3		16							1		2												2,8	1x15	1/2"	12	
TOMAS ALC-1,BAÑOS	4																							8	6,67	1x15	1/2"	12
AA ALCOBA 1	5													1										5	1x15	1/2"	12	
TOMAS COCINA	6																					3	3	12,5	1x15	1/2"	12	
AA ALCOBA 1	7												1											5	1x15	1/2"	12	
TOMAS NEVERA	8																	1						3,33	1x15	1/2"	12	
AA ALCOBA 2	9													1										5	1x15	1/2"	12	
	10																							0	1x15	1/2"	12	
AA ALCOBA 2	11												1											5	1x15	1/2"	12	
TOMAS LABORES	12																						2	7,92	1x15	1/2"	12	
AA SALA-COMEDOR	13													1										10	1x15	1/2"	12	
	14																							0	1x15	1/2"	12	
AA SALA-COMEDOR	15												1											10	1x15	1/2"	12	
	16																							0	1x15	1/2"	12	
	17																							0	1x15	1/2"	12	
	18																							0	1x15	1/2"	12	
	19																							0	1x15	1/2"	12	
	20																							0	1x15	1/2"	12	
	21																							0	1x15	1/2"	12	
	22																							0	1x15	1/2"	12	
	23																							0	1x15	1/2"	12	
	24																							0	1x15	1/2"	12	
FASE R	5431	W	CORRIENTE		AWG / mm2		6	Prot		ACOMETIDA SELECCIONADA																		
FASE S	4450	W	49,9040404		AWG / mm2		46,92	2X60		2#6 AWG + 1#6 AWG + 1#8 AWG, THHW, 90C, 600V en Ø 1"																		
CARGA	9881	W	DIST		%CV		0,31654716	Ducto																1"				

CUADRO DE CARGA MB-03B (APTO-03B) (PISOS 36-38) (CANTIDAD:3), MONOFASICO, 24 CTOS.																												
OBSERVACIONES	CTO	LUCES								VENTILADOR	EXTR	A.A				TOMAS					I [A]	PROT	DUCT	COND				
		LED				FLUORESCENTE						3600w	2400w	1800w	1200w	600w	750w	400w	1000w	400w					100w			
		3w	11w	40w	13w	17w	100w	200w	100w																	200w	30w	600w
LUCES SALA-COMEDOR	1		16							1		2												2,8	1x15	1/2"	12	
TOMAS ALC-1, SALA	2																							9	7,5	1x15	1/2"	12
LUCES ALC-1, LABORES	3		16							2		1												3,38	1x15	1/2"	12	
TOMAS ALC-2,ALC-3	4																							10	8,33	1x15	1/2"	12
AA ALCOBA-1	5													1										5	1x15	1/2"	12	
TOMAS COCINA	6																						3	3	12,5	1x15	1/2"	12
AA ALCOBA-1	7												1											5	1x15	1/2"	12	
TOMAS NEVERA	8																	1						3,33	1x15	1/2"	12	
AA ALCOBA-2	9													1										5	1x15	1/2"	12	
	10																							0	1x15	1/2"	12	
AA ALCOBA-2	11													1										5	1x15	1/2"	12	
TOMAS LABORES	12																						2	7,92	1x15	1/2"	12	
AA ALCOBA-3	13																							5	1x15	1/2"	12	
	14																							0	1x15	1/2"	12	
AA ALCOBA-3	15																							5	1x15	1/2"	12	
	16																							0	1x15	1/2"	12	
AA SALA-COMEDOR	17																							10	1x15	1/2"	12	
	18																							0	1x15	1/2"	12	
AA SALA-COMEDOR	19																							10	1x15	1/2"	12	
	20																							0	1x15	1/2"	12	
	21																							0	1x15	1/2"	12	
	22																							0	1x15	1/2"	12	
	23																							0	1x15	1/2"	12	
	24																							0	1x15	1/2"	12	
FASE R	6742	W	CORRIENTE		AWG / mm2		6	Prot		ACOMETIDA SELECCIONADA																		
FASE S	4750	W	58,04040404		AWG / mm2		46,92	2X60		2#6 AWG + 1#6 AWG + 1#8 AWG, THHW, 90C, 600V en Ø 1"																		
CARGA	11492	W	DIST		%CV		0,36815707	Ducto																1"				

CUADRO DE CARGA MB-05 (APTO-05) (PISOS 10-41) (CANTIDAD:31), MONOFASICO, 24 CTOS.																																													
OBSERVACIONES	CTO	LUCES										VENTILADOR	EXTR	A.A				TOMAS					I [A]	PROT	DUCT	COND																			
		LED			FLUORESCENTE				AVISO					LAV	NEVERA	COCI	TOM																												
		3w	11w	40w	13w	17w	100w	200w	100w	200w	30w			3600w	2400w	1800w	1200w	600w	750w	400w	1000w	400w					100w																		
LUCES SALA-COMEDOR	1		16																					3,13	1x15	1/2"	12																		
TOMAS ALC-2-3	2																							10	8,33	1x15	1/2"	12																	
LUCES ALC-1-2-3	3		14																						4,28	1x15	1/2"	12																	
TOMAS SALA-ALC-1	4																											11	9,17	1x15	1/2"	12													
AA ALC-1	5																															5	1x15	1/2"	12										
TOMAS COCINA	6																																2	3	9,17	1x15	1/2"	12							
AA ALC-1	7																																		5	1x15	1/2"	12							
TOMAS NEVERA	8																																			3,33	1x15	1/2"	12						
AA ALC-2	9																																			5	1x15	1/2"	12						
	10																																			0	1x15	1/2"	12						
AA ALC-2	11																																				5	1x15	1/2"	12					
TOMAS LABORES	12																																				2	7,92	1x15	1/2"	12				
AA ALC-3	13																																					5	1x15	1/2"	12				
	14																																					0	1x15	1/2"	12				
AA ALC-3	15																																						5	1x15	1/2"	12			
	16																																						0	1x15	1/2"	12			
AA SALA-COMEDOR	17																																							10	1x15	1/2"	12		
	18																																							0	1x15	1/2"	12		
AA SALA-COMEDOR	19																																								10	1x15	1/2"	12	
	20																																								0	1x15	1/2"	12	
	21																																								0	1x15	1/2"	12	
	22																																									0	1x15	1/2"	12
	23																																									0	1x15	1/2"	12
	24																																									0	1x15	1/2"	12
FASE R	6890	W	CORRIENTE	AWG / mm2		4	Prot	ACOMETIDA SELECCIONADA																																					
FASE S	4550	W	57,77777778			62,92	2X80	2#4 AWG + 1#4 AWG + 1#8 AWG, THHW, 90C, 600V en ø 1-1/4"																																					
CARGA	11440	W	DIST	%CV		0,68323932	Ducto																																						
			25			1-1/4"																																							

CUADRO DE CARGA MB-ZONA SOCIAL (PISOS 43) (CANTIDAD:1), MONOFASICO, 12 CTOS.																																																
OBSERVACIONES	CTO	LUCES										VENTILADOR	EXTR	A.A				TOMAS					I [A]	PROT	DUCT	COND																						
		LED			FLUORESCENTE				AVISO					LAV	NEVERA	COCI	TOM																															
		3w	11w	40w	13w	17w	100w	200w	100w	200w	30w			3600w	2400w	1800w	1200w	600w	750w	400w	1000w	400w					100w																					
LUCES ZONA SOCIAL	1	10	11	5																																					3,43	1x15	1/2"	12				
TOMA ICE MAKER	2																																										8,33	1x15	1/2"	12		
LUCES DEPOSITO	3																																											2,06	1x15	1/2"	12	
TOMAS - NEVERA	4																																												10,8	1x15	1/2"	12
LUCES DEPOSITO	5																																												2,38	1x15	1/2"	12
	6																																											0	1x15	1/2"	12	
	7																																											0	1x15	1/2"	12	
	8																																											0	1x15	1/2"	12	
	9																																											0	1x15	1/2"	12	
	10																																											0	1x15	1/2"	12	
	11																																											0	1x15	1/2"	12	
	12																																											0	1x15	1/2"	12	
FASE R	944	W	CORRIENTE	AWG / mm2		8	Prot	ACOMETIDA SELECCIONADA																																								
FASE S	2300	W	16,38383838			35,98	2X40	2#8 AWG + 1#8 AWG + 1#10 AWG, THHW, 90C, 600V en ø 1"																																								
CARGA	3244	W	DIST	%CV		0,24394264	Ducto																																									
			18			1"																																										

CUADRO DE CARGA TABLERO DE ASCENSORES (CUARTO DE MAQUINAS)(PISO 44)(CANTIDAD:1)										
OBSERVACIONES	LUCES		TOMAS 100W	ASCENSOR 16000W	CARGA INSTALADA	I[A]	AWG/MM2	DIST[M]	%CV(5%)	PROTEC
	11W	17W								
ASCENSOR # 1				1	16000	42,04	4 62,92	4	0,038	3X70
ASCENSOR # 2				1	16000	42,04	4 62,92	8	0,075	3X70
ASCENSOR # 3				1	16000	42,04	4 62,92	15	0,141	3X70
LUCES HELIPUERTO, CUARTO DE MAQUINAS.	14	3	1		305	0,80	12 16,8	12	0,008	1X15
TOTAL	14	3	1	3	48305	126,92	3/0 201,55	15	0,133	3X175
CARGA	48305	W	DIST	37	ACOMETIDA SELECCIONADA					
CORRIENTE	141,020027	A	%CV	0,66646377	3#3/0AWG+1#3/0AWG+1#6AWG THHW, 90C, 600V EN Ø 3"					
AWG/mm2	3/0		PROT	3X175						
	201,55		DUCTO	3"						

CUADRO DE CARGA EQUIPO ZS																					
OBSERVACIONES	LUCES					VENTILADOR		EXTRA 30W	TOMACORRIENTES				EQUIP PISCIN 5000w	ASC 16000W	EQUIP HIDRO 8000w	CARGA [W]	I[A]	AWG/ mm2	DIST	%CV	PROT
	LED			FLUORESCENT		100W	200W		NEVER 1000W	NEVER 400W	COCIN 400W	100W									
	3W	11W	40W	13W	17W																
MB-EQUIPO PISCINA 2 (PISO 42)												1			5000	22,73	8 35,98	18	0,18	2x40	
MB-ZONA SOCIAL	10	11	5	41			2	1	2	1	1				3244	14,75	8 35,98	25	0,17	2x40	
TABLERO ASCENSORES		14			3						1		3		48305	126,92	3/0 201,55	15	0,13	3x175	
EQUIPO HIDRONEUMATICO														1	8000	21,02	6 46,92	22	0,14	3x40	
TOTAL	10	25	5	41	3	0	0	2	1	2	1	2	1	3	64549	169,60	4/0	10	0,10	3x200	
ACOMETIDA SELECCIONADA	3#4/0AWG+1#4/0AWG+1#6AWG THHW, 90C, 600V EN Ø 3"																240,28	10	0,10	3x200	

TABLERO DE MEDIDORES DEL PISO 10-35, CANT: 25																						
TABLERO	LUCES							VENTILADOR		EXTRA 30W	TOMACORRIENTES				AA		CARGA W	I[A]	AWG	DIST	%CV	PROT
	LED			FLUORESCENTES				100W	200W		LAV 750W	NEV 400W	COCINA 400W	100W	2400W	1200W						
	3W	11W	40W	13W	17W	100W	200W															
MB-APT02		27						2	1	2	1	1	2	22	1	2	9707	49,03	6	10	0,17	2X60
MB-APT03		22						1	1	2	1	1	2	17	1	1	7852	39,66	6	18	0,25	2X60
MB-APT04		22						1	1	2	1	1	2	17	1	1	7852	39,66	6	25	0,34	2X60
MB-APT05		30						3	1	2	1	1	2	26	1	3	11440	57,78	4	30	0,45	2X60
TOTAL	0	101	0	0	0	0	0	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851					
CARGA TOTAL [W]	36851		AMP	AWG/MM2	DIST[M]	%CV(5%)	PROT	ACOMETIDA SELECCIONADA														
			107,58	4/0 143,7	2,5	0,05	3X150	3#1/0AWG+1#1/0AWG+1#6AWG THHW, 90C, 600V EN Ø 2"														

TABLERO DE MEDIDORES DEL PISO 26, CANT:1

TABLERO	LUCES							VENTILADOR		EXTRACTOR OR 30W	TOMACORRIENTES				AIRE ACONDICIONADO			CARGA INSTALADA DAW	AMP [A]	AWG	LONG MTS	%CV	PROTECC	
	LED			FLUORESCENTES				100W	200W		LAV 750W	NEVERA 400W	COCINA 400W	100W	2400W	1800W	1200W							
	3W	11W	40W	13W	17W	100W	200W																	
MB-APT 3602		27						2	1	2	1	1		2	22	1		2	9707	49,03	6	14	0,24	2X60
MB-APT 3603A		31						2		3	1	1		3	21	1		2	9881	49,90	6	29	0,50	2X60
MB-APT 3605		30						3	1	2	1	1		2	26	1		3	11440	57,78	4	30	0,60	2X60
MB-APT 3702		27						2	1	2	1	1		2	22	1		2	9707	49,03	6	10	0,13	2X60
MB-APT 3703A		31						2		3	1	1		3	21	1		2	9881	49,90	6	25	0,32	2X60
TOTAL	0	146	0	0	0	0	0	11	3	12	5	5	0	12	112	5	0	11	50616					
CARGA TOTAL [W]		50616					AMP	AWG/MM2	DIST[M]	%CV(5%)	PROT	ACOMETIDA SELECCIONADA												
							147,77	3/0	2,5	0,05	3X175	3#3/0AWG+1#3/0AWG+1#6AWG THHW, 90C, 600V EN Ø 3"												
								201,55																

TABLERO DE MEDIDORES DEL PISO 38, CANT : 1

TABLERO	LUCES						VENTILADOR		EXTRACTOR OR 30W	TOMACORRIENTES				AA		CARGA W	AMP [A]	AWG	LONG MTS	%CV	PROTECC	
	LED		FLUORESCENTES				100W	200W		LAV 750W	NEVERA 400W	COCINA 400W	100W	2400W	1200W							
	11W	40W	13W	17W	100W	200W																
MB-APT 3705	30						3	1	2	1	1	2	26	1	3	11440	57,78	4	30	0,45	2X60	
MB-APT 3802	27						2	1	2	1	1	2	22	1	2	9707	49,03	6	14	0,24	2X60	
MB-APT 3803A	31						2		3	1	1	3	21	1	2	9881	49,90	6	29	0,50	2X60	
MB-APT 3805	30						3	1	2	1	1	2	26	1	3	11440	57,78	4	30	0,45	2X60	
MB-APT 3902	27						2	1	2	1	1	2	22	1	2	9707	49,03	6	10	0,17	2X60	
TOTAL	145	0	0	0	0	0	12	4	11	5	5	11	117	5	12	52175						
CARGA TOTAL [W]		52175					AMP	AWG/MM2	DIST[M]	%CV(5%)	PROT	ACOMETIDA SELECCIONADA										
							152,32	3/0	2,5	0,05	3X175	3#3/0AWG+1#3/0AWG+1#6AWG THHW, 90C, 600V EN Ø 3"										
								201,55														

TABLERO DE MEDIDORES DEL PISO 40, CANT : 1

TABLERO	LUCES					VENTILADOR		EXTRACTOR	TOMACORRIENTES				AIRE ACONDICIONADO		CARGA INSTALADA W	AMP [A]	AWG	LONG MTS	%CV	PROTECC		
	LED		FLUORESCENTES			100W	200W		LAV 750W	NEVERA 400W	COCINA 400W	100W	2400W	1200W								
	11W	40W	17W	100W	200W																	
MB-APT 3903A	32					3		3	1	1	3	24	1	3	11492	58,04	4	18	0,27	2X80		
MB-APT 3905	30					3	1	2	1	1	2	26	1	3	11440	57,78	4	30	0,45	2X80		
MB-APT 4002	27					2	1	2	1	1	2	22	1	2	9707	49,03	6	34	0,58	2X80		
MB-APT 4003A	32					3		3	1	1	3	24	1	3	11492	58,04	4	34	0,51	2X80		
MB-APT 4005	30					3	1	2	1	1	2	26			11440	57,78	4	34	0,51	2X80		
TOTAL	151	0	0	0	0	14	3	12	5	5	12	122	4	11	55571							
CARGA TOTAL [W]		55571					AMP	AWG/MM2	DIST[M]	%CV(5%)	PROT	ACOMETIDA SELECCIONADA										
							182,23	3/0	2,5	0,05	3X175	3#3/0AWG+1#3/0AWG+1#6AWG THHW, 90C, 600V EN Ø 3"										
								201,55														

TABLERO MEDIDORES DEL PISO 41, CANT : 1

TABLERO	LUCES				VENTILADOR		EXTRACTOR	TOMACORRIENTES				AIRE ACONDICIONADO		CARGA INSTALADA W	AMP [A]	AWG	LONG MTS	%CV	PROTECC	
	LED		FLUORESCENTES		100W	200W		LAV 750W	NEVERA 400W	COCINA 400W	100W	2400W	1200W							
	11W	17W	100W	200W																
MB-APT 4102	27				2	1	2	1	1	2	22	1	2	9707	49,03	6	10	0,17	2X60	
MB-APT 4103A	32				3		3	1	1	3	24	1	3	11492	58,04	4	18	0,27	2X80	
MB-APT 4105	30				3	1	2	1	1	2	26			11440	57,78	4	30	0,45	2X80	
TOTAL	89	0	0	0	8	2	7	3	3	7	72	2	5	32639						
CARGA TOTAL [W]		89				AMP	AWG/MM2	DIST[M]	%CV(5%)	PROT	ACOMETIDA SELECCIONADA									
						95,29	1/0	2,5	0,04	3X125	3#1/0AWG+1#1/0AWG+1#6AWG THHW, 90C, 600V EN Ø 2"									
							143,7													

7.2 Blindobarras.

7.2.1 Blindobarra # 1.

CUADRO DE CARGA BLINDOBARRA # 1																	
TABLERO	LUCES		VENTILADOR		EXTRACTOR 30W	TOMAS			AA			CARGA [W]	AMP	AWG	DIST	%CV(5%)	PROTECC
	LED	100W	200W	LAV 750W		NEVERA 400W	COCINA 400W	100W	2400W	1200W							
	11W																
TAB MEDIDA 1 (PISO 10)	101	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 2 (PISO 11)	101	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 3 (PISO 12)	101	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 4 (PISO 14)	101	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 5 (PISO 15)	101	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 6 (PISO 16)	101	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 7 (PISO 17)	101	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 8 (PISO 18)	101	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 9 (PISO 19)	101	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 10 (PISO 20)	101	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 11 (PISO 21)	101	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 13 (PISO 22)	101	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 14 (PISO 23)	101	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 15 (PISO 24)	101	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 16 (PISO 25)	101	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 17 (PISO 26)	101	7	4	8	4	4	8	82	4	7	36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TOTAL	1616	112	64	128	64	64	128	1312	64	112	589616						

Carga Instalada Luces y Tomas			301616		
Primeros 3000W	al	100%	3000	3000	
Entre 3000W y 120000W	al	35%	120000	42000	
Sobre 120000W	al	25%	178616	72000	
Carga Instalada Aire Acondicionado	al	100%	288000	288000	
Carga Total Demandada (W)				405000	
Factor de Potencia				0,9	
KVA Demandados				450000	
				0,9	
Amperios				1249	
Se elige una blindobarra de 1500 Amp					

CALCULO CORRIENTE Y REGULACION PARA BLINDOBARRA #1 (1.500 AMP)	
CALCULO DE REGULACION DESDE TABLERO B.T. HASTA PUNTO DE CARGA MAXIMA DE LA BLINDOBARRA.	
$V\% = \frac{K * Ib * L}{Vn * 10(6)} * 100$	
REGULACION DESDE TABLERO B.T. HASTA EL CENTRO DE CARGA DE LA BLINDOBARRA (ALUMINIO, TIPO SC, 1500 AMP)	
Lm=mts. Longitud total vertical.	
Lm=mts. Longitud media vertical donde se hace momento electrico	92
Ib=(corriente al final de la barra)	1.249
V= voltios	208
K= (coeficiente en tabla, barra aluminio tipo SC-1.500amp, para U * cos=0.90)	42,7
V% (de la blindobarra) =	2,36 (en punto mas critico)

7.2.2 Blindobarra # 2

CUADRO DE CARGA BLINDOBARRA # 2																								
TABLERO	LUCES					VENTILADOR		EXTRACTOR 30W	TOMAS				AA		EQUIPO PISCINA 5000W	ASCENSOR 16000W	EQUIPO HIDRO 8000W	CARGA (W)	AMP	AWG	DIST	%CV(5%)	PROTECC	
	LED			FLUORESC		100W	200W		LAV 750W	NEVERA		COCINA 400W	100W	2400W										1200W
	3W	11W	40W	13W	17W					400W	1000W													
TAB MEDIDA 1 (PISO 27)		101				7	4	8	4	4		8	82	4	7			36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 2 (PISO 28)		101				7	4	8	4	4		8	82	4	7			36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 3 (PISO 29)		101				7	4	8	4	4		8	82	4	7			36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 4 (PISO 30)		101				7	4	8	4	4		8	82	4	7			36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 5 (PISO 31)		101				7	4	8	4	4		8	82	4	7			36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 6 (PISO 32)		101				7	4	8	4	4		8	82	4	7			36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 7 (PISO 33)		101				7	4	8	4	4		8	82	4	7			36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 8 (PISO 34)		101				7	4	8	4	4		8	82	4	7			36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 9 (PISO 35)		101				7	4	8	4	4		8	82	4	7			36851	107,58	1/0	2,5	0,026	3X150	
TAB MEDIDA 10 (PISO 36)		146				11	3	12	5	5		12	112	5	11			50616	147,77	1/0	2,5	0,036	3X150	
TAB MEDIDA 13 (PISO 38)		145				12	4	11	5	5		11	117	5	12			52175	152,32	1/0	2,5	0,037	3X150	
TAB MEDIDA 15 (PISO 40)		151				14	3	12	5	5		12	122	4	11			55571	162,23	1/0	2,5	0,040	3X150	
TAB MEDIDA 16 (PISO 41)		89				8	2	7	3	3		7	72	2	5			32639	95,29	1/0	2,5	0,023	3X150	
TAB EQUIPOS Y ZS P 42	10	25	5	41	3			2		2	1	1	2			1	3	1	64549	188,44	1/0	2,5	0,046	3X150
TOTAL	10	1465	5	41	3	108	48	116	54	56	1	115	1163	52	102	1	3	1	587209					

Carga Instalada Luces y Tomas			279009	
Primeros 3000W	al	100%	3000	3000
Entre 3000W y 120000W	al	35%	120000	42000
Sobre 120000W	al	25%	156009	61800
Carga Instalada Aire Acondicionado	al	100%	247200	247200
Carga Instalada Equipos Piscina 2	al	100%	5000	5000
Carga Instalada Ascensor	al	100%	48000	48000
Carga Instalada Equipo Hidro	al	100%	8000	8000
Carga Total Demandada (W)			415000	
Factor de Potencia			0,9	
KVA Demandados			461111	
Amperios			1280	
Se elige una blindobarra de 1500 Amp				

CALCULO CORRIENTE Y REGULACION PARA BLINDOBARRA #2 (1.500 AMP)	
CALCULO DE REGULACION DESDE TABLERO B.T. HASTA PUNTO DE CARGA MAXIMA DE LA BLINDOBARRA.	
$V\% = \frac{K * Ib * L}{Vn * 10(6)} * 100$	
REGULACION DESDE TABLERO B.T. HASTA EL CENTRO DE CARGA DE LA BLINDOBARRA (ALUMINIO, TIPO SC, 1.500 AMP)	
Lm=mts. Longitud total vertical.	
Lm=mts. Longitud media vertical donde se hace momento electrico	116
Ib=(corriente al final de la barra)	1.280
V= voltios	208
K= (coeficiente en tabla, barra aluminio tipo SC-1.500amp, para U * cos=0.90)	42,7
V% (de la blindobarra) =	3,05 (en punto mas critico)

7.3 Calculo del transformador.

CALCULO TRANSFORMADOR					
Carga Total Instalada Luces y Tomas					629.535
Primeros	3000W	al	100%	3.000	3.000
Entre	3000W y 120000W	al	35%	120.000	42.000
Sobre	120000W	al	25%	506.535	126.634
Carga Total Instalada A.A.					580.650
Carga Total Equipos Piscina					10.000
Carga Total Ascensores					48.000
Carga Equipo Hidroneumatico					8.000
Carga Total Bomba Agua					48.000
Carga Total Bombas Incendio (No Incluye)					
Carga Total Bombas Jockey (No Incluye)					
GRAN TOTAL CARGA DEMANDADA (W)					866.284
Factor de potencia					0,9
KVA demandados					962.538
SE ESCOGE TRANSFORMADOR TRIFASICO DE 1000 KVA DE 13200 /208-120 Voltios. TIPO SECO-ENBEBIDO EN RESINA					

CALCULO ACOMETIDA Y REGULACION ENTRE TRAFIO Y TABLERO GENERAL DE B.T.		
$\%CV = \frac{\sqrt{3} * I * L * 100}{56 * S * V}$		
I =	2.775,8	Amp.
L =	10	Mts.
S = 2 barras de Cobre de 1.779 Amp.(area c/u 1.129,03mm2)	2258	mm2
V =	208	Vol.
AWG= BARRAJE DE COBRE 3.558 AMP.		
%CV =		0,18

7.4 Cálculo de la regulación y pérdidas de la acometida de media tensión para un transformador de 1000KVA.

7.4.1 Regulación.

$$I_p = \frac{Kva}{\sqrt{3} * V_{LL}}$$

$$I_p = \frac{1000Kva}{1,73 * 13200}$$

$$I_p = 43,74A$$

$$\%CV = \frac{\sqrt{3} * I_p * L * 100}{56 * S * V_{LL}}$$

$$\%CV = \frac{1,74 * 43,74 * 80 * 100}{56 * 33,6 * 13200}$$

$$\%CV = 0,024\%$$

Se escoge un conductor de cobre XLPE al 100% calibre 2 AWG por fase en ducto de 4", el cual cumple por capacidad de corriente y regulación.

7.4.2 Pérdidas.

$$P = 3I^2R_T$$

$$P = 3(43,74^2)(0,048)$$

$$P = 274,925 W$$

I = Corriente en A

R = 0,599Ω Resistencia del conductor de cobre Cu # 2 AWG en Ωkm

L = Longitud de la acometida 80mts = 0,08km

$$R_T = R * L = \text{Resistencia Total.}$$

$$R_T = 0,599\Omega * 0,08$$

$$R_T = 0,048\Omega$$

$$\Delta W = \frac{100 * L * W}{K * S * V^2 * \text{Cos}^2\varphi}$$

$$\Delta W = \frac{100 * 80 * 1000}{56 * 33,6 * 13200^2 * 1}$$

$$\Delta W = 0,322\%$$

Donde:

ΔW = Perdida de potencia desde el principio hasta el final de la línea en %.

S = Sección del conductor en mm².

L = Longitud de la línea en metros.

W = Potencia transportada en Wattios.

K = Conductibilidad eléctrica para el cobre 56.

V^2 = Tensión de servicio.

7.5 Calculo de la protección de la media tensión.

$$I_P = \frac{Kva}{\sqrt{3} * V_{LL}} = 43,74 \text{ Amp}$$

Se escoge fusible tipo D de 50 Amp.

7.6 Calculo de baja tensión para transformador de 1000 KVA.

7.6.1 Calculo de acometida del transformador hasta el tablero de transferencias.

$$\begin{aligned}KVA &= 1000 \\V_{LL} &= 208 \\I_{SEC} &= \frac{KVA * 1000}{\sqrt{3} * V_{LL}} * 1,25 = 3469,55 \text{ Amp}\end{aligned}$$

Para esta carga se escogen 2 BARRAS DE COBRE DE 1.779 Amp (cada una), para cada una de las fases y para el neutro. La Unión entre el Borne Secundario del transformador y las barras de cobre equivalentes a 3.500 Amp x fase, se hará por medio de una Trenza Flexible de 3.500 Amp.

7.6.2 Calculo de regulación de la acometida del transformador hasta tablero de transferencias.

$$\%CV = \frac{\sqrt{3} * I * L * 100}{56 * S * V}$$

Parámetros:

I: 2775,64

$$I = \frac{KVA * 1000}{\sqrt{3} * V_{LL}} = 2775,64 \text{ Amp}$$

L: 8 mts.

S: 2.258 dos barras de cobre de (1/2" x 3-1/2")

V: 208

$$\%CV = \frac{\sqrt{3} * 2775 * 8 * 100}{56 * 2,258 * 208}$$

$$\%CV = 0,15$$

7.7 Calculo de la acometida de baja tensión desde planta de emergencia de 750KW (937,5KVA) stand by, hasta tablero de transferencia automática.

$$KVA = 937$$

$$V_{LL} = 220$$

$$I_{SEC} = \frac{KVA * 1000}{\sqrt{3} * V_{LL}} * 1,25$$

$$I_{SEC} = 3073,65 \text{ Amp}$$

Tabla 13. Capacidad de corriente permitida en los conductores.

Tabla 310-17 Capacidad de corriente permisible de conductores sencillos aislados para 0 a 2 000 V nominales al aire libre y temperatura ambiente de 30 °C

Sección transv.	Temperatura nominal del conductor (ver Tabla 310-13)						Calibre
	60 °C TIPOS TW*, UF*	75 °C TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, ZW*	90 °C TIPOS TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	60 °C TIPOS TW*, UP	75 °C TIPOS RH*, RHW, THHW, THW, THWN*, XHHW, USE*	90 °C TIPOS TBS, SA, SIS, THHN*, THHW, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm ²	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG kcmils
0,82	--	--	18	--	--	--	18
1,31	--	--	24	--	--	--	16
2,08	25*	30*	35*	--	--	--	14
3,30	30*	35*	40*	25*	30*	35*	12
5,25	40	50*	55*	35*	40*	40*	10
8,36	60	70	80	45	55	60	8
13,29	80	95	105	60	75	80	6
21,14	105	125	140	80	100	110	4
26,66	120	145	165	95	115	130	3
33,62	140	170	190	110	135	150	2
42,20	165	195	220	130	155	175	1
53,50	195	230	260	150	180	205	1/0
67,44	225	265	300	175	210	235	2/0
85,02	260	310	350	200	240	275	3/0
107,21	300	360	405	235	280	315	4/0
126,67	340	405	455	265	315	355	250
152,01	375	445	505	290	350	395	300
177,34	420	505	570	330	395	445	350
202,68	455	545	615	355	425	480	400
253,35	515	620	700	405	485	545	500
304,02	575	690	780	455	540	615	600
354,69	630	755	855	500	595	675	700
380,02	655	785	855	515	620	700	750
405,36	680	815	920	535	645	725	800
456,03	730	870	985	580	700	785	900
506,70	780	935	1.055	625	750	845	1000
633,38	890	1.065	1.200	710	855	960	1250
760,05	980	1.175	1.325	795	950	1075	1500
886,73	1070	1.280	1.445	875	1050	1185	1750
1 013,40	1155	1.385	1560	960	1150	1335	2000
FACTORES DE CORRECCIÓN							
Temp. ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30°C, multiplicar las anteriores corrientes por el correspondiente factor de los siguientes						Temp ambiente en °C
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	21-25
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	26-30
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	31-35
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	36-40
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	41-45
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	46-50
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	51-55
56-60	--	0,58	0,71	--	0,58	0,71	56-60
61-70	--	0,33	0,58	--	0,33	0,58	61-70
71-80	--	--	0,41	--	--	0,41	71-80

* Si no se permite otra cosa específicamente en otro lugar de este Código, la protección contra sobrecorriente de los conductores marcados con un asterisco (*), no debe superar los 15 A para 2,08 mm² (14 AWG); 20 A para 3,3 mm² (12 AWG) y 30 A para 5,25 mm² (10 AWG), todos de cobre; o 15 A para 3,3 mm² (12 AWG) y 25 A para 5,25 mm² (10 AWG) de aluminio y aluminio recubierto de cobre.

Fuente: NTC 2050, Capítulo # 3, Página 183.

Para esta carga se escogen ocho (8) Conductores N° 500 MCM para cada una de las fases y ocho (8) Conductores N° 500 MCM para el neutro, transportados por medio de una Bandeja Portacables de 40 cms de ancho.

$$620 \text{ A (8 Conductores)} = 4960 \text{ A} \geq 3073.65 \text{ A}$$

7.7.1 Corrección por temperatura.

Consideramos una temperatura Ambiente entre 41-45°C, por lo tanto es necesario realizar corrección por temperatura.

Consideramos la temperatura del conductor de 75°C, esto nos da una capacidad de corriente de 620 A.

Aplicando la corrección por temperatura:

$$620\text{A} (0,88) = 545,6 \text{ A}$$

$$545,6 \text{ A (8 Conductores)} = 4364,8 \text{ A}$$

$$4364,8 \text{ A} \geq 3073,65 \text{ A}$$

Con base en esto podemos asegurar que la elección del conductor de 500 MCM es la adecuada.

7.7.2 Calculo del ancho de la bandeja.

Para calcular el número de cable de conductor sencillo para 2000V nominales o menos en bandejas portacables de tipo Escalera, nos remitimos al artículo 318-10.a.2, de la Norma NTC2050 de Icontec, la cual dice: "Si todos los cables son de 126.67mm² (250kcmils) a 506.7mm² (1000kcmils), la suma de las secciones transversales de todos los cables de conductor sencillo, no debe superar la superficie máxima permitida en la columna 1 de la Tabla 318-10 para la anchura correspondiente de la Bandeja."

Teniendo en cuenta que la sección transversal del Cable de Cobre 500 MCM es de 2.53 cm², la suma de las secciones transversales de los 32 conductores 500MCM

que se transportan en la bandeja, sería de 80.96cm²., lo cual es inferior a los 84 cm² de Superficie máxima admisible de ocupación para una bandeja de 40 cms de ancho, según la Columna 1 de la Tabla 318-10 de la Norma NTC 2050.

Cables 250kCMIL a 1000kCMIL								
Cantidad	Tipo de Conductor		Calibre		Diam. (mm)	Area (mm ²)	Area Total (mm ²)	Ancho Requerido (cm)
32	THW 600 V	▼	500	▼	17,46	239,43	7661,76	27,58
0	TW 600 V	▼	250	▼	13,51	143,35	0,00	0,00
0	THW 600 V	▼	1000	▼	19,42	296,20	0,00	0,00
0	THW 600 V	▼	300	▼	14,66	168,79	0,00	0,00
0	THW 600 V	▼	1000	▼	19,42	296,20	0,00	0,00
392-10(a) (2) NEC 2008							Ancho Minimo (cm)	27,58
Fuente: Aralven							20% Reserva:	5,52
							Ancho total de Bandeja (cm)	33,10

Figura 10. Calculo de bandeja portacables.

Fuente: CALCULOS ELECTRICOS FIDEL MORENO

7.7.3 Corrección por número de conductores portadores de corriente.

Para calcular la Capacidad de Corriente de los Cables de 2000V o menos en las Bandejas portacables de Tipo Escalera, nos remitimos al artículo 318-11.b. de la Norma NTC2050, la cual dice: Cables Sencillos. Los factores de corrección de la sección 310, nota 8.a) de las notas a las Tablas de capacidad de corriente de 0 a 2000V, no se deben aplicar a la capacidad de corriente de los cables en Bandeja. La capacidad de corriente de un cable de conductor sencillo o de los conductores sencillos alambrados juntos (en grupos de 3, 4, etc.) de 2000V nominales o menos, debe cumplir lo siguiente: 2) cuando estén instalados según los requisitos del artículo 318-10

Según la Tabla 310-17, la capacidad de corriente del cable de cobre #500MCM, tipo THWN (75°C), al aire libre es de 620 Amp. Corrigiendo esta capacidad de corriente al 65% enunciado anteriormente, nos da una capacidad máxima para este cable de 403 Amp., para un total de 3.224 Amp. De capacidad total para los 8 conductores por Fase. La cual supera lo requerido.

7.7.4 Calculo de regulación de la acometida de baja tensión desde planta de emergencia hasta tablero de transferencias automáticas.

$$\%CV = \frac{\sqrt{3} * I * L * 100}{56 * S * V_{LL}}$$

$$\%CV = 0,38$$

Parámetros:

I: 2458

L: 22

S: 2024 mm², para 8 conductores de 500MCM.

V: 220V

7.7.5 Calculo de protección de la acometida de baja tensión y capacidad del barraje de baja tensión para las transferencias automáticas.

$$I_{prot} = I_n * 1,25 = 3073,6 \quad \text{Amp}$$

Se escoge protección para cada una de las 2 Transferencias Automáticas de 1.700amp.

$$I_{barra} = 3500 \quad \text{Amp x barra}$$

Se escoge barraje Tetra filar de 3.500 Amp.

7.8 Calculo de las corrientes de cortocircuito.

CALCULO DE LAS CORRIENTES DE CORTO-CIRCUITO	
MEDIA TENSION.	BAJA TENSION.
$I_p = P / (1,732 * U_p)$	$I_s = (P * 1000) / (1,732 * U_s)$
P= Potencia del transformador en KVA	P= Potencia del transformador en KVA
Up= Tension compuesta primaria en KVA	Us= Tension compuesta secundaria en V
Ip= Intensidad primaria en KVA	Is = Intensidad secundaria en A
DATOS DEL PROYECTO	
UP= 13.2 Kv	
P = 1000 KVA	
Is = 2775,80 Amp	
Ip = 43,74 Amp	
Is = 2697,98 Amp	
Iccp = 5,20 Amp Dato entregado por el operador de RED.	
CORTOCIRCUITOS	
INTENSIDAD PRIMARIA PARA CORTOCIRCUITO.	INTENSIDAD SECUNDARIA PARA CORTOCIRCUITO DESPRECIANDO Z DE LA RED.
$I_{ccp} = P_{cc} / (1,732 * U_p)$	$I_{ccs} = \frac{P * 100}{1,732 * U_{cc\%} * U_s}$ $I_{ccs} = (I_n * 100) / (U_{cc\%})$
Pcc = Potencia de cortocircuito de la red en MVA	P = Potencia del transformador en KVA
Up = Tension compuesta primaria en KV	Us = Tension compuesta en carga en el secundario
Iccp = Intensidad de cortocircuito primaria en KA	Iccs = Intensidad de cortocircuito secundaria en KA
	Us = Tension compuesta en carga en el secundario
	Ucc% = Tension de cortocircuito en % del Trafo.
Iccp = 5,20 KA	Iccs = 55,52 Amp
Pcc = 118,88 MVA	
COMPROBACION POR SOLICITUD TERMICA DE Co-Ci PARA ACOMETIDA BT.	
$I_{th} = O * S * \sqrt{T/t}$	
Ith= Intensidad maxima del conductor por efectos termicos	
O= 13 para el cobre	
S= Seccion del conductor en mm2	
T = Elevacion o incremento maximo de temperatura, 160°C para el cobre.	
t = Tiempo de duracion del cortocircuito	
El Ith resultante debe de ser mayor o igual a 16KA (limite termico a 1 segundo)	
Ith = 141,02 KA	

FIGURA # 11: Corrientes de corto-circuito.

FUENTE: FIDEL MORENO

7.9 Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorriente.

CALCULO Y COORDINACION DE PROTECCIONES CONTRA SOBRECORRIENTES	
Transformador de Potencia.	1000 KVA
V Primario	13200 V
V Secundario	208 V
Ucc (Según NTC 819)	3%
CORRIENTE DEL PRIMARIO	
$I_P = \frac{P}{\sqrt{3} * V_{LL}} = 43,73 \text{ Amp}$	
CORRIENTE EN EL SECUNDARIO	
$I_{SEC} = \frac{KVA * 1000}{1,7321 * V_{LL}} = 2775,64 \text{ Amp}$	
CORRIENTE DE FALLA EN EL PRIMARIO	
$I_{falla-prim} = \left(\frac{I_n}{U_Z} \right) * 100 = 874,80 \text{ Amp}$	
CORRIENTE DE FALLA EN EL SECUNDARIO	
$I_{falla-sec} = \left(\frac{I_n}{I_Z} \right) * 100 = 55512,87 \text{ Amp}$	
CAPACIDAD DE INTERRUPCION	
$I_{cc-sim} = (1,25 * I_n) / U_{cc}$	115651,82 Amp sim
Se especifican 110 Ka simetricos a 208 V	
$I_{cc-asim} = 1,25 * I_{cc-sim}$	144564,77 Amp sim
Se especifican 150 Ka simetricos a 208 V	
BAJA TENSION	
En el tablero principal de baja tension el minimo $I_{cc} = 55,52 \text{ Ka}$. En la curva del breaker su tiempo de respuesta debe de ser de 0,01seg.	
MEDIA TENSION	
Transferidas las corrientes de falla al lado de media tension, tendriamos:	
$I_{cc(sec)} = 55512,87 \text{ Amp}$	Capacidad minima en barras tablero principal en BT.
Relacion de Transformacion: $208 / 13200 = 0,015758$	
$I_{cc(prim)} \text{ en MT} = I_{cc(sec)} * \text{Relacion del Transformador} = 874,7 \text{ Amp}$	
CARACTERISTICAS DEL BREAKER TOTALIZADOR	
Se escogen 2 Breakers Graduables de 3 x 1700 Amp	
Breakers Graduables de 1000 - 2000 Amp	
Ir : 1700 Amp ; Icc : 150 Ka ; 208 / 120 V ; Vn = 600V	
CORTACIRCUITO EN POSTE	
Se escoge fusible tipo D dual de 50 Amp	

FIGURA # 12: Coordinación de protecciones.

FUENTE: AUTOR

7.10 Sistema de puesta a tierra.

7.10.1 Calculo de la malla a tierra.

$$Rg = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L}$$

Donde:

ρ = resistividad del terreno medida en terreno.

A = area de la malla.

L

= longitud del conductor de la malla (incluye la suma de las longitudes de las varilla.

Rg = resistencia maxima de la malla a tierra.

Tabla 14. Datos de resistividad en sitio.

Separación	Resistividad
1	46,2
2	35,4
4	8,3
6	2,8

Nota: Ver ANEXO: MODELO DEL SUELO

Fuente: AUTOR

7.10.1.1 Selección del conductor de malla a tierra.

El conductor debe ser seleccionado con la siguiente fórmula, la cual fue adoptada de la norma ANSI / IEEE 80:

$$A_{mm2} = \frac{IK_f \sqrt{t_c}}{1,9737}$$

Donde:

A_{mm^2} = Sección del conductor en mm^2

I = Corriente de falla a tierra, suministrada por el OR.

K_f = Es la constante de la tabla 23 del RETIE. (7 para el cobre)

T_m = Es la temperatura de fusión del conductor.

tc = Tiempo de despeje de la falla a tierra.

El conductor de la red de tierra a instalar debe ser seleccionado de tal forma que tenga la capacidad de conducir corrientes de cortocircuito. En el lado de 208 V del transformador de 1000 KVA se espera que la magnitud de la falla sea del orden de 55,52 kA aproximadamente, esta corriente de falla retornaría a la fuente generadora a través de los cables de la malla de tierra, pero no produce disipación en la malla. Para la simulación se considera el valor de la corriente de cortocircuito, un tiempo de duración de la falla antes del despeje por la operación de la protección asociada de 0,5 s y uniones en soldadura exotérmica.

Los resultados son los siguientes:

I monofásico (OR) = 5,2 kA

Área calculada: 12,928 mm^2

Referencia del cable recomendado: 4/0 AWG

Diámetro del cable recomendado: 13,40 mm

El conductor seleccionado para la malla de tierra corresponde a un cable de cobre No.4/0 AWG (107.2 mm^2), el cual tiene un diámetro de 13,4 mm y soporta hasta 43 kA de cortocircuito, lo cual indica que los cables permiten el paso de la máxima corriente durante la falla (0,5 segundos) sin sobrepasar la temperatura máxima permitida que garantiza la integridad de conductores y uniones de la red de tierra.

Ver anexos:

Análisis de la malla.

Análisis del suelo.

Configuración de la malla.

Diagrama contorno de potencial.

Modelo del suelo.

Reporte contorno de potencial.

Todos los anexos fueron desarrollados con el software CYMGRD de la casa EATON.

Para dar veracidad a lo que se ha calculado utilizaremos una hoja de cálculo basada en la IEEE-80-2000, que se explicó detalladamente en el CAPITULO V: PUESTA A TIERRA.

**CALCULO DE MALLA DE PUESTA A TIERRA
IEEE - 80**

Datos del Suelo

ρ	1,23	Ohm/m	(resistividad del suelo)
ρ_s	54,66	Ohm/m	(resistividad superficial)
h_s	1,65	m	(Profundidad de la capa superficial)

Geometría de la malla [Ver Diagrama](#)

Largo (X):	30	m	Cantidad de varillas:	10
Ancho (Y):	30	m	Largo:	2,4 m
Área:	900	m ²	Con varillas en las esquinas	
Espacio Vertical (Ey):	7	m	LR:	24 m
Espacio Horizontal (Ex):	7	m	↓	
Conductores verticales:	5,285714286		Lm:	356,00 m
Conductores Horizontales:	5,285714286		Lt:	341,14 m
Lc:	317,1428571	m (Longitud total de la malla)		
h:	0,50	m (Profundidad de la malla)		

Parámetros eléctricos

Ts:	0,5	s	(Tiempo de duración de la falla)
3I0:	7233,69	A	(3XIO Corriente de falla)

[Calcular](#)

Conductor de la malla

Tipo:	Cobre Puro	
Conductividad:	100 % respecto al cobre puro	} IEEE 80-2000 Sec 11.3 Tabla 1 Con temperatura de referencia 20°C
Factor α :	0,00393 @20°C [1/°C]	
K0 a 0°C:	234	
Tm:	1083 [°C] (Temperatura de fusión)	
pr a 20°C:	1,72 [μΩ·cm]	
TCAP:	3,42 [J/cm³·°C] Capacidad termica	
Tipo de Union:	Soldada	
Temp Max de la Union:	450 °C	
Ta:	40 °C	(temperatura ambiente)
Akcmil:	35,83 kcmil	} Características mínimas del conductor de tierra
Area minima:	18,15 mm ²	
Diámetro mínimo:	0,0048 mm	
Conductor de diseño:	4/0 AWG	
área:	107,20 mm ²	
diámetro:	0,0117 mm	

Factores de paso y toque

K:	-0,96	(factor de reflexión)
Cs:	0,97	(factor de reducción)
Peso de la persona:	50	kg
Es:	216,45 V	(Voltaje de paso Max, para el peso indicado)
Et:	177,15 V	(Voltaje de toque Max)

Resistencia de la malla

Rg:	0,02 Ω (Resistencia de la malla)
-----	-----------------------------------------

Corriente de Malla

IG:	1,96 kA
-----	----------------

[Calcular](#)

Incremento de potencial

GPR:	41,82 V (Incremento de potencial en la malla)
------	------------------------------------------------------

Voltaje de malla

Em:	8,33 V (Voltaje de la malla en falla)
-----	----------------------------------------------

Voltaje de paso

Es:	5,43 V
-----	---------------

El Diseño cumple con la norma

Figura 13. Cálculo de la malla a tierra.

Fuente: FIDEL MORENO

7.11 Apantallamiento.

Edificio número: 1 de 1

Nombre del edificio

Ed.	Nombre del edificio	Largo	Ancho	Alto	PDC-Malla
1		30,00	16,00	155,00	M

DIMENSIONES

Longitud (L) 30,00 m.

Anchura (W) 16,00 m.

Altura tejado (H) 155,00 m.

Altura prominencia (Hp) 155,0 m.

Superficie exposición (Ad) 722.550,90 m² Fijada manualmente

PÉRDIDAS

Tipo 1. Pérdidas de vidas humanas

Por incendios: B. Ocupadas ocasionalment

Por riesgo de pánico: B. Bajo (menos de 100 pers)

Consecuencia de los daños: A. Sin consecuencias.

Por sobretensiones: A. No aplica.

Tipo 2. Pérdidas de servicios esenciales

Pérdida de servicios: B. Pérdida de servicios.

Tipo 3. Pérdidas de patrimonio cultural

Pérdida de patrimonio: A. No aplica.

Tipo 4. Pérdidas económicas

Riesgos especiales: A. Sin consecuencias.

Por incendios: A. Valor común.

Por sobretensiones: A. No aplica.

Por tensión paso/contacto: A. Sin riesgo de shock.

Riesgo tolerable de pérdidas: C. 1 en 1.000 años.

LÍNEAS DE SERVICIOS

Suministro eléctrico

Situación del cable: B. Enterrado.

Tipo de cable: B. No apantallado.

Transformador MT/BT: A. Transformador.

Otros servicios aéreos

Número de servicios: 0

Tipo de cable: B. No apantallado.

Otros servicios enterrados

Número de servicios: 0

Tipo de cable: B. No apantallado.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES

Clase SPCR: A. Nivel I.

Protección sobretensiones: B. Sólo en entrada de servici

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA

Tipo de cubierta: B. Hormigón.

Tipo de estructura: B. Hormigón.

Riesgo de incendio: B. Común.

Tipo de cableado interno: B. Apantallado.

INFLUENCIAS AMBIENTALES

Situación: B. Altura similar.

Factor ambiental: C. Residencial.

Días de tormenta: 20 Días / año

Densidad anual impactos: 2,00 Impactos / km²

Tipo de terreno: C. Arena suelta, arena densa, grava, roca

Edificio número: 1 de 1

Nombre del edificio

Ed.	Nombre del edificio	Largo	Ancho	Alto	PDC-Malla
1		30,00	16,00	155,00	M

DETERMINACIÓN DE LA NECESIDAD DE PROTECCIÓN SEGÚN LA NORMA UNE-EN 62305-2

Ed.	Nombre	Superficie de captura	Riesgo de pérdida vidas humanas	Riesgo de pérdida de servicios públicos	Riesgo de pérdida de patrimonio	Riesgo de pérdidas económicas	Necesidad instalación SEPCR*	Nivel de protección	Necesidad instalación SPCR**	Tipo SPCR
1		722.550,90	6,91E-06	9,79E-05	0,00E+00	1,45E-08	Necesaria	Nivel I	Necesaria	IEC62305-4

ELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE PROTECCIÓN

La protección se realizará mediante PDC Malla

* SEPCR = Sistema Externo de Protección Contra el Rayo
** SPCR = Sistema Interno de Protección Contra el Rayo

Edificio: 1

PROTECCIÓN NECESARIA:
La instalación de un sistema externo e interno es necesaria según la IEC 62305-2.

NIVEL DE PROTECCIÓN:
Nivel de protección: Nivel I

Figura 14. Cálculo del nivel de riesgo.

Fuente: SOFTWARE APLICACIONES TECNOLOGICAS

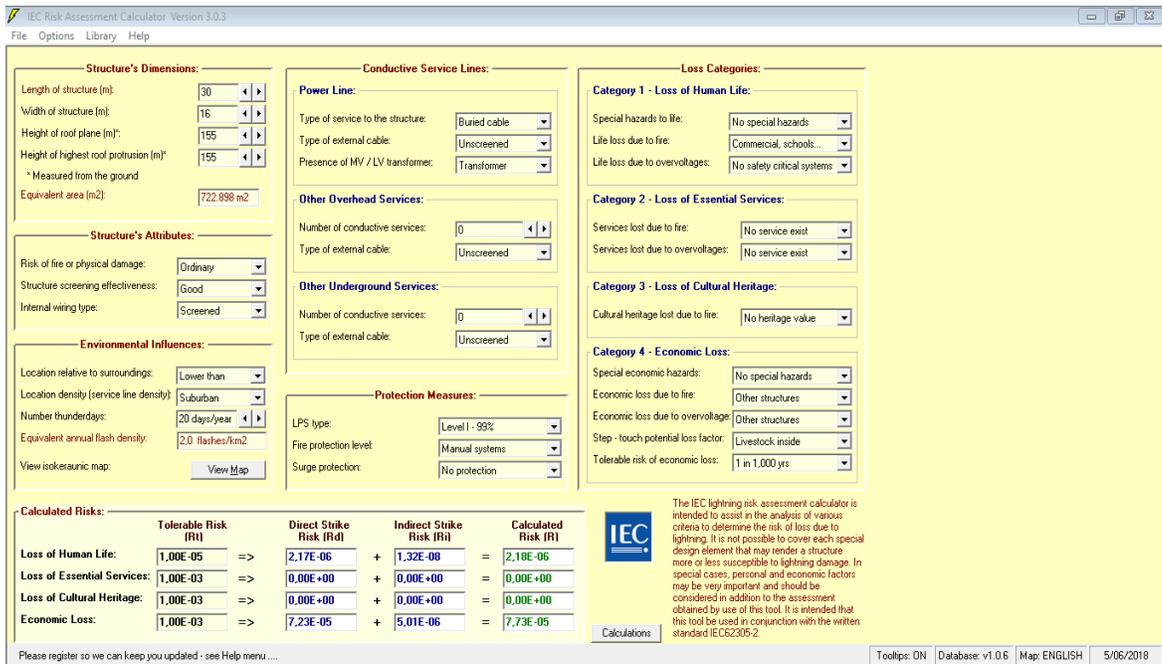


Figura 15. Resultado análisis de riesgo PALMETTO SUNSETT.

Fuente: Software IEC Risk Assessment Calculator.3.0.3

Con estos datos podemos constatar que necesitamos un sistema de protección Nivel 1, según la IEC-62305-2. La norma NFPA 780 especifica radios de la esfera rodante de 45 m (150 ft), para estructuras ordinarias, y de 30 m (100 ft), para estructuras con riesgo de incendio o explosión especiales. La IEC-62305 especifica que para el NIVEL 1, que hemos calculado para esta estructura el radio de protección de la esfera rodante es de 20 m. Tomando estos datos podemos hacer uso de la siguiente hoja de cálculo para determinar la altura de los captore y verificar que cumplen con lo establecido con el método de la esfera rodante.

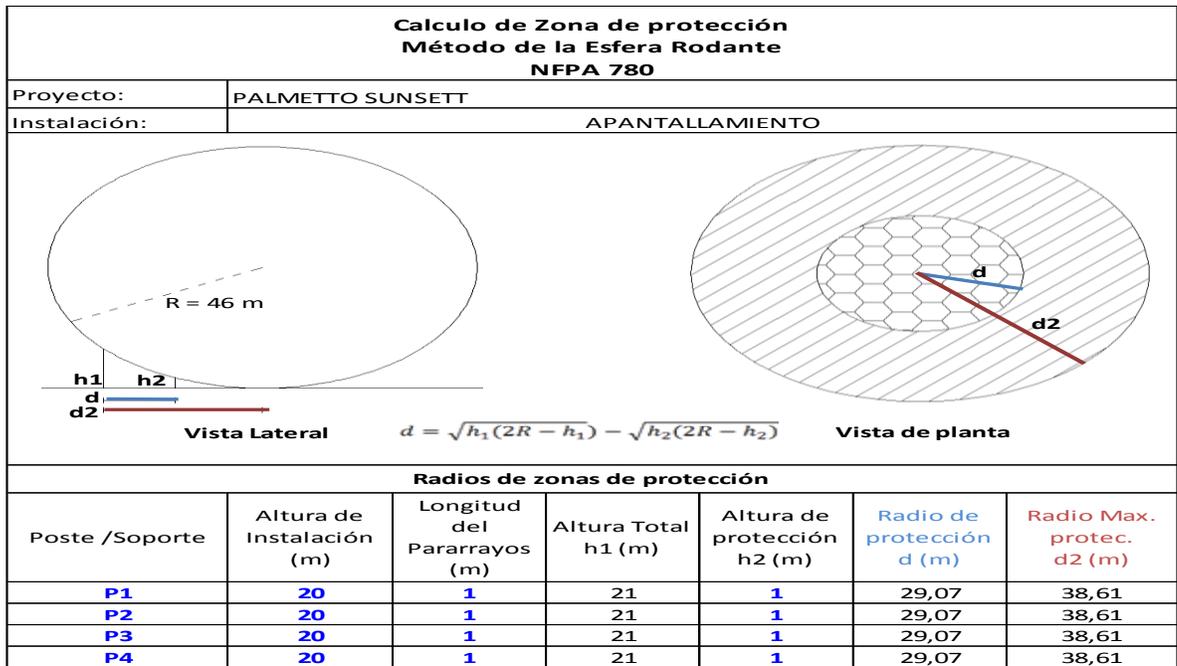


Figura 16. Cálculo de longitud de los captores.

Fuente: FIDEL MORENO

ANEXO # 2: PROTOCOLO DEL TRANSFORMADOR

NACIONAL DE TRANSFORMADORES TESLA			CERTIFICADO DE PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES				CERTIFICADO No. 591-16		
CLIENTE: CELCO S.A			PEDIDO No. 623-16			DISEÑO No. <small>1000PT-AA-13200-216-01</small>			
OFERTA No.		TRANSFORMADOR: NUEVO		FABRICANTE: TESLA TRANSFORMADORES		No. DE SERIE: 5910916			
POTENCIA : 1000 KVA	FRECUENCIA: 60 Hz	TENS. SERIE 15/1,1	CALENT. DEV. 100 °C		ALT. DISEÑO 1000 MSNM				
FASES: 3	REFRIGERACION: AN	NBA AT/BT: 95/10 KV	CLASE DE AISL.: F		FECHA DE FAB.: 2016/12/17				
VALORES NOMINALES		DEVANADOS PRIMARIO		TENSION (V) 13200	DESPACHO (V) 13200	DERIVACIONES +2-2x2.5%	CORRIENTE(A) 43.74	DESPACHO (A) 43.74	
		SECUNDARIO		216	216		2672.92	2672.92	
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A:				24.7 °C	POSICION CONMUTADOR		3		
1. REFRIGERACION: AIRE NATURAL									
2. RESIS. DE AISLAMIENTO		TENS. DE PRUEBA (KV)		AT CONTRA BT(MΩ)		AT CONTRA TIERRA (MΩ)		BT CONTRA TIERRA (MΩ)	
TIEMPO DE LECTURA: 60 s		5		100000		100000		90000	
3. RELACION DE TRANSFORMACION			Polaridad:		Grupo Conexión: Dyn5		Fase-Fase: Fase-Neuro: X		
POSICION		TENS. DERIV	FASE U	FASE V	FASE W	NOMINAL	MINIMA	MAXIMA	
5		13860	111.300	111.290	111.300	111.140	110.584	111.696	
4		13530	108.640	108.620	108.640	108.494	107.951	109.036	
3		13200	105.970	105.960	105.980	105.848	105.318	106.377	
2		12870	103.290	103.300	103.310	103.201	102.685	103.717	
1		12540	100.620	100.650	100.650	100.555	100.052	101.058	
4. RESISTENCIA ENTRE TERMINALES		DEVANADO		U - V	V - W	W - U	PROMEDIO	MATERIAL DE FABRICACION	
		PRIMARIO(Ω)		1.1700	1.1520	1.1510	1.16	Aluminio	
		SECUNDARIO(mΩ)		0.338	0.351	0.336	0.34	Aluminio	
5. ENSAYO DE AISLAMIENTO		TENSION APLICADA DURANTE 60s				TENSION INDUCIDA			
		BT CONTRA AT Y TIERRA (KV):		3.0		TENSION (V)	432	TIEMPO (s)	60
		AT CONTRA BT Y TIERRA (KV):		31.0		FREC. (Hz):	120		
6. ENSAYO SIN CARGA		TENSION (V)	Ix (A)	Iy (A)	Iz (A)	Promedio (%)	Garant. (%)	Po Medid. (W)	
		216	29.20	16.70	27.50	0.92	2.3	2146.0	2600
7. ENSAYO DE CORTOCIRCUITO		MEDIDAS			Referidas a 120 °C		Garantizadas a 120 °C		
		PERDIDAS (W)		8713		10901		11482	
		I ₂ R (W)		6984		9649			
		IMPEDANCIA (%)		6.20		6.23		6.00	
8. REGULACION A PLENA CARGA Y FP=				0.8	4.64	9. EFICIENCIA A P. C. Y F.P.=		0,8	98.40%
10. CARACTERISTICAS MECANICAS			MASA TOTAL (Kg): 2310						
11. DIMENSIONES EXTERNAS DEL TRANSFORMADOR (m)					12. PINTURA				
LARGO: 1.58		ANCHO: 1.04		ALTO: 1.76		COLOR: RAL 7032		ESPESOR: 80µm	
13. REFRIGERACION			NUMERO DE ELEMENTOS: 0.00		LARGO (m): 0.00		ANCHO (m): 0.00		
OBSERVACIONES: transformador tipo Seco clase F MONITOR DE TEMPERATURA, SONDAS PT100 Y CAJA DE CONEXIONES Y DPS MT									

ANEXO # 3: ANALISIS DE LA MALLA

Reporte de análisis de la malla Sunday, July 12, 2015, 09:50:51

Nombre de la subestación Untitled
 Proyecto ED PALMETTO SUNSET
 Estudio ED PALMETTO SUNSET

Parámetros

Spec. Z paralelo equivalente Z infinito
 Frecuencia nominal 60 hz
 Nombre de la barra BOCAGRANDE 2
 Corriente de falla LG 5200 amps
 Contribución a distancia 60 %
 Espesor de la capa superior 1.65 metros
 Resistividad de la capa superior 54.66 ohm-m
 Resistividad de la capa inferior 1.23 ohm-m

Resultados de salida

Elementos del electrodo primario

X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Longitud	Radio (mm)	Corriente (amps)	Electrodo (#)
(metros)									
0	0	0.5	5	0	0.5	5	6.7	37.1557	Asy 1
5	0	0.5	5	5	0.5	5	6.7	37.1557	Asy 2
5	5	0.5	0	5	0.5	5	6.7	37.1557	Asy 3
0	5	0.5	0	0	0.5	5	6.7	37.1557	Asy 4
2.5	0	0.5	2.5	5	0.5	5	6.7	31.6346	Asy 5
0	2.5	0.5	5	2.5	0.5	5	6.7	31.6346	Asy 6

Longitud total de los conductores primarios 30 metros

0	0	0.5	0	0	1.65	1.15	8	9.8109	Asy 1
0	0	1.65	0	0	2.9	1.25	8	717.1988	Asy 1
5	0	0.5	5	0	1.65	1.15	8	9.8109	Asy 2
5	0	1.65	5	0	2.9	1.25	8	717.1988	Asy 2
5	5	0.5	5	5	1.65	1.15	8	9.8109	Asy 3
5	5	1.65	5	5	2.9	1.25	8	717.1988	Asy 3
0	5	0.5	0	5	1.65	1.15	8	9.811	Asy 4
0	5	1.65	0	5	2.9	1.25	8	717.1988	Asy 4

Longitud total de las varillas primarias 9.6 metros

Número total de elementos 14

Elevación del potencial de tierra 717.442 voltios
 Resistencia de tierra calculada 0.224087 ohmios
 Impedancia equivalente 0.224082 ohmios

ANEXO # 4: ANALISIS DEL SUELO

Reporte del análisis de suelo	Sunday, July 12, 2015, 09:48:58
--------------------------------------	---------------------------------

Nombre de la subestación	Untitled
Proyecto	ED PALMETTO SUNSET
Estudio	ED PALMETTO SUNSET

Parámetros

Título	Untitled
Modelo de suelo	Estratificado en 2 capas
Modelo securitario	IEEE Std. 80-2000
Espesor de la capa superficial	0.2 metros
Resistividad de la capa superficial	2500 ohm-m
Duración del choque eléctrico	0.5 secs
Peso corporal	50 kg

Resultados de salida

Espesor de la capa superior	1.65 metros
Resistividad de la capa superior	54.66 ohm-m
Resistividad de la capa inferior	1.23 ohm-m
Tensión máxima de contacto	668.71 voltios
Tensión máxima de paso	2182.69 voltios
Factor Cs de reducción	0.820342

Valores supuestos

Distancia sondas (metros)	Resistividad calculada (ohm-m)
0.09	54.66
0.17	54.62
0.26	54.53
0.34	54.36
0.43	54.09
0.51	53.7
0.6	53.18
0.68	52.53
0.77	51.74
0.85	50.83
0.94	49.79
1.02	48.64
1.11	47.39
1.19	46.06
1.28	44.65
1.36	43.18
1.45	41.67
1.53	40.13
1.62	38.57
1.7	37
1.79	35.44
1.87	33.88
1.96	32.35
2.04	30.85
2.13	29.38
2.21	27.95
2.3	26.56
2.38	25.22
2.47	23.92
2.55	22.68
2.64	21.48
2.72	20.34
2.81	19.24

2.89	18.19
2.98	17.2
3.06	16.26
3.15	15.36
3.23	14.51
3.32	13.7
3.4	12.93
3.49	12.21
3.57	11.53
3.66	10.89
3.74	10.28
3.83	9.71
3.91	9.18
4	8.68
4.08	8.2
4.17	7.75
4.25	7.33
4.34	6.94
4.42	6.58
4.51	6.23
4.59	5.91
4.68	5.6
4.76	5.32
4.85	5.06
4.93	4.81
5.02	4.58
5.1	4.36
5.19	4.15
5.27	3.96
5.36	3.79
5.44	3.63
5.53	3.47
5.61	3.32
5.7	3.19
5.78	3.06
5.87	2.95
5.95	2.84
6.04	2.73
6.12	2.63
6.21	2.54
6.29	2.46
6.38	2.39
6.46	2.31
6.55	2.25
6.63	2.18
6.72	2.12
6.8	2.06
6.89	2.02
6.97	1.97
7.06	1.92
7.14	1.88
7.23	1.84
7.31	1.8
7.4	1.77
7.48	1.74
7.57	1.71
7.65	1.68
7.74	1.65
7.82	1.63
7.91	1.6
7.99	1.59
8.08	1.57
8.16	1.55
8.25	1.53

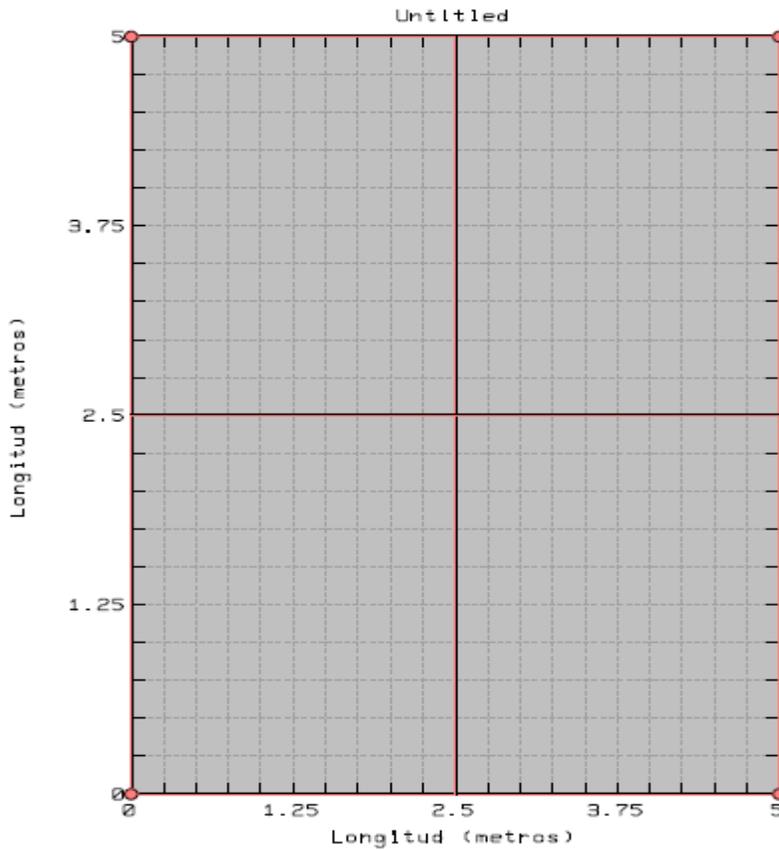
8.33	1.51
8.42	1.5
8.5	1.48

Valores puestos en tabla

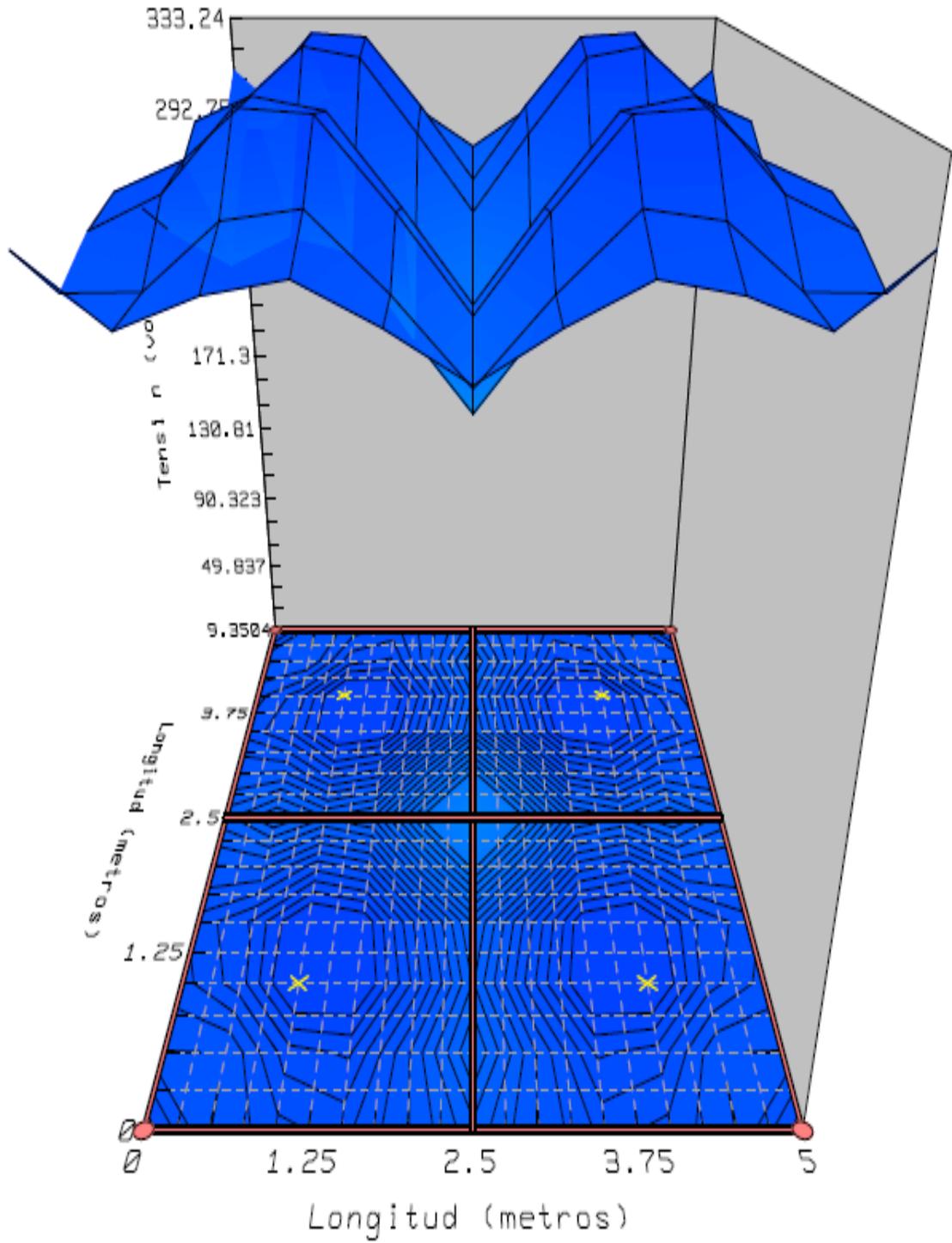
Error RMS 6.53 %

Distancia sondas (metros)	Resistividad medida (ohm-m)	Resistividad calculada (ohm-m)	Error (%)
1	46.2	48.93	5.92
2	35.4	31.57	-10.83
4	8.3	8.65	4.21
6	2.8	2.77	-0.9

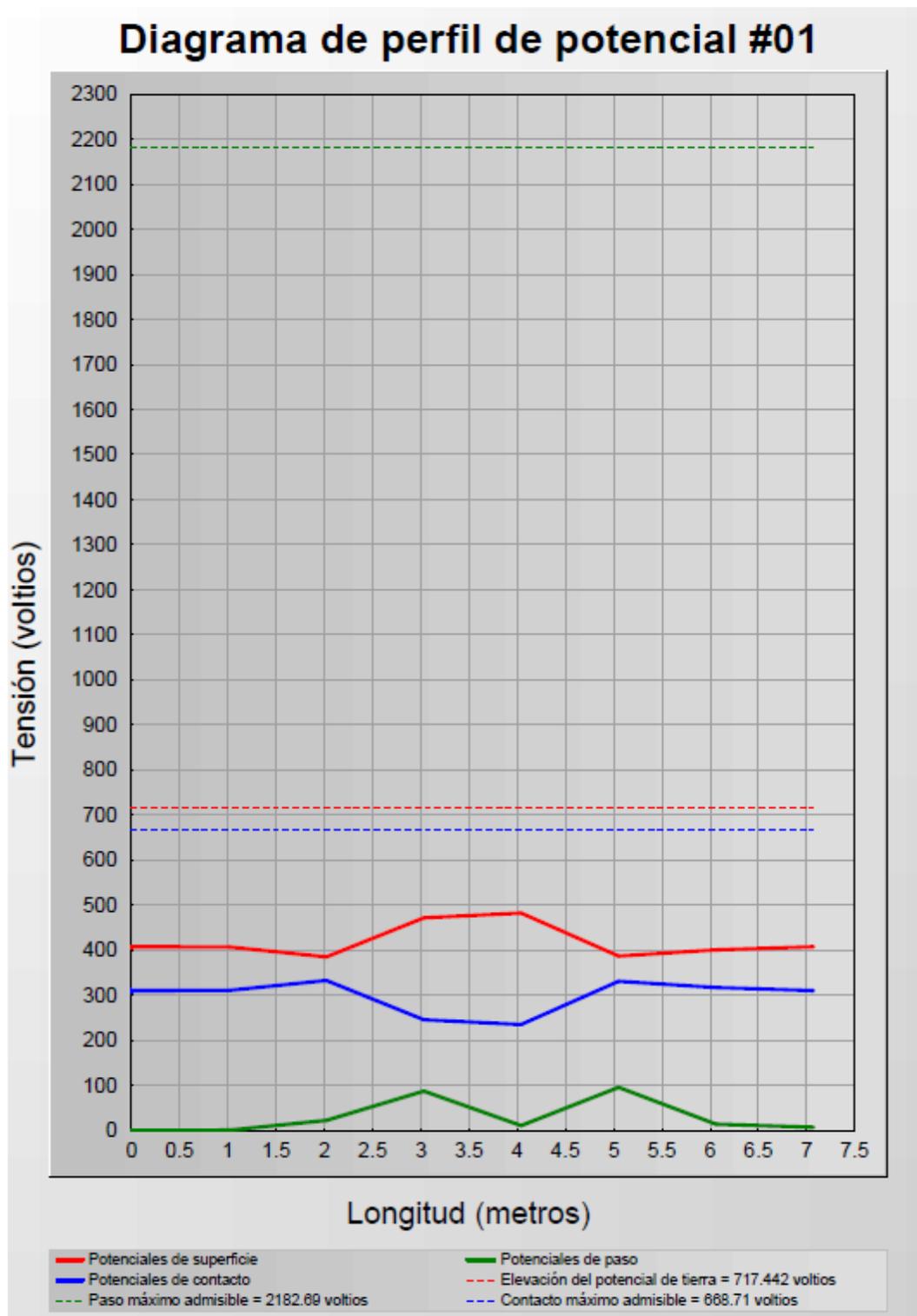
ANEXO # 5: CONFIGURACION DE LA MALLA



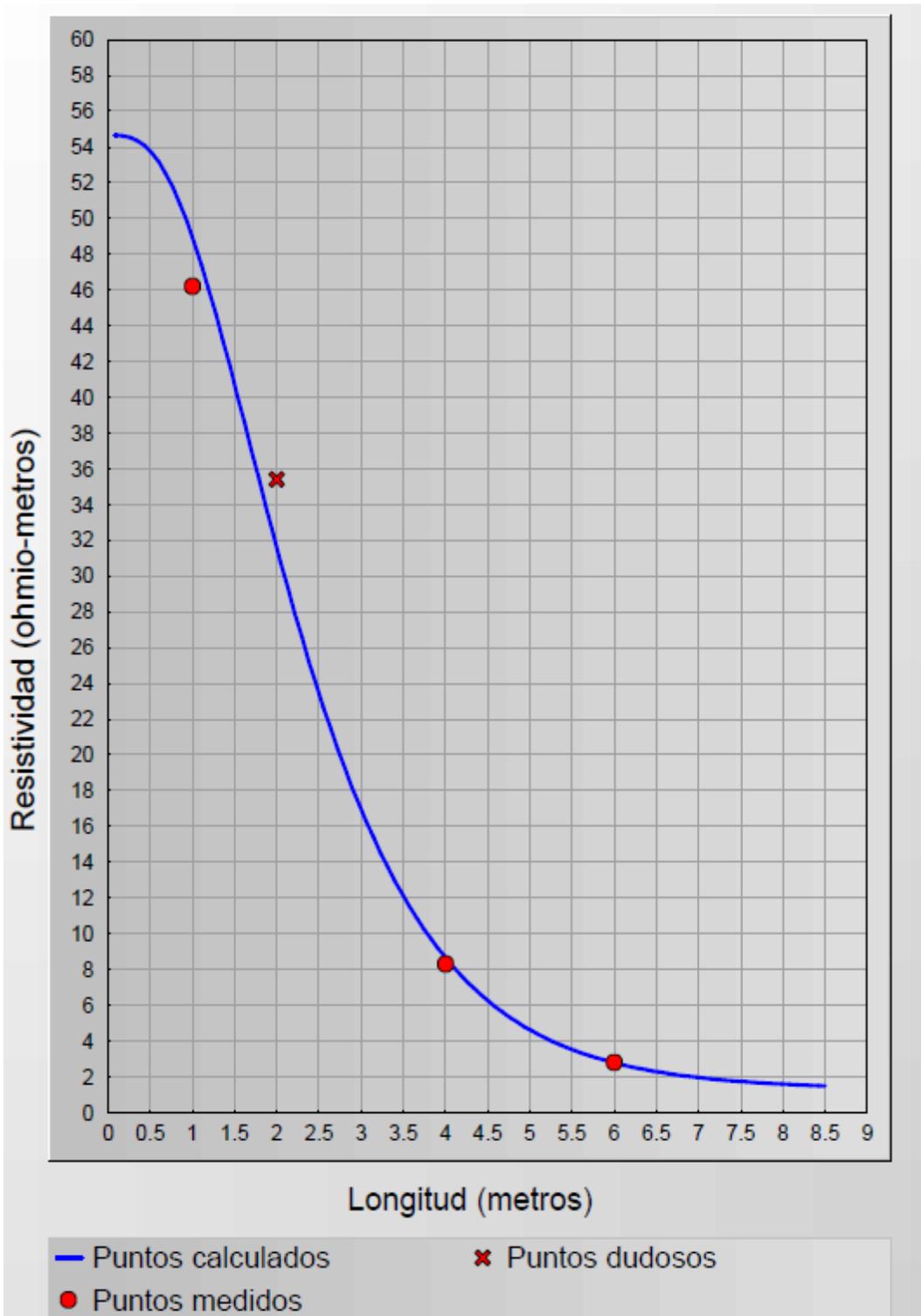
ANEXO # 6: DIAGRAMA DEL CONTORNO DE POTENCIAL



ANEXO # 7: DIAGRAMA PERFIL DE POTENCIAL



ANEXO # 8: MODELO DEL SUELO



ANEXO # 9: REPORTE CONTORNO DE POTENCIAL

Reporte de contorno de potencial Sunday, July 12, 2015, 09:50:56

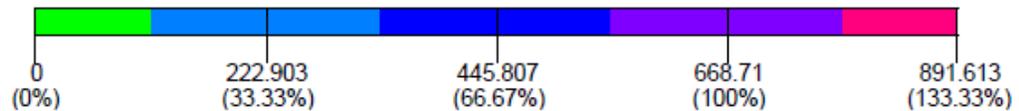
Nombre de la subestación Untitled
 Proyecto ED PALMETTO SUNSET
 Estudio ED PALMETTO SUNSET

Parámetros

Título Diagrama de contorno de potencial #01
 Nombre de la barra BOCAGRANDE 2
 Corriente de falla LG 5200 amps
 Contribución a distancia 60 %
 Corriente del electrodo de retorno 0 amps
 Espesor de la capa superior 1.65 metros
 Resistividad de la capa superior 54.66 ohm-m
 Resistividad de la capa inferior 1.23 ohm-m
 Potenciales iguales (distintos) Sí
 X1 0 metros
 Y1 0 metros
 X2 5 metros
 Y2 5 metros
 Intervalos X 10
 Intervalos Y 10

Niveles de umbral del potencial de contacto

Tensión máxima de contacto 668.71 voltios



Puntos de máximo potencia

Potencial de contacto en los puntos 333.24 voltios

X (metros)	Y (metros)
1	4
4	4
1	1
4	1