



**Herramienta Computacional de Estandarización para Selección de Materiales Utilizados en
Sistemas de Protección Externa contra Rayos**

Daniel Muñoz Otálvaro

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Electricista

Asesores

Esteban Velilla Hernández, Doctor (PhD) en Ingeniería de Materiales
César Augusto Agudelo Osorio, Magíster (MSc) en Ingeniería Eléctrica

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Eléctrica
Medellín, Antioquia, Colombia
2023

Cita	Muñoz Otálvaro [1]
Referencia	[1] D. Muñoz Otálvaro, “Herramienta Computacional de Estandarización para Selección de Materiales Utilizados en Sistemas de Protección Externa contra Rayos”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2023.
Estilo IEEE (2020)	



Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Noe Alejandro Mesa Quintero.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
I. INTRODUCCIÓN	8
II. OBJETIVOS	9
A. Objetivo general	9
B. Objetivos específicos	9
III. MARCO TEÓRICO	10
IV. METODOLOGÍA	12
V. RESULTADOS	13
A. Herramienta desarrollada.	13
B. Comprobación de la herramienta.	17
VI. ANÁLISIS	24
A. Comparación de la herramienta propuesta vs el método actual	24
B. Comprobación de la aplicabilidad	24
VII. CONCLUSIONES	25
REFERENCIAS	26

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Base de datos principal.	13
Fig. 2. Ingreso de nuevos elementos para la tabla de cantidades.	14
Fig. 3. Selección del elemento.....	14
Fig. 4. Datos de los materiales para documento final.	14
Fig. 5. Botón para generar el documento final.	15
Fig. 6. Documento final generado.	15
Fig. 7. Banco de imágenes de los materiales.....	16
Fig. 8. Imágenes en la base de datos principal.	16
Fig. 9. Modelo 3D de la estructura a proteger.....	17
Fig. 10 Estructura protegida contra descargas atmosféricas.	18
Fig. 11. Medida de resistividad del terreno.	18
Fig. 12. Diseño del sistema de puesta a tierra.	19
Fig. 13. Plano del sistema del SPE.....	20
Fig. 14. Cantidades de obra del proyecto.	21
Fig. 15. Resultado final.	23

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

SPT	Sistema de Puesta a Tierra
SPE	Sistema de Protección Externa
NTC	Norma Técnica Colombiana
RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
ANSI	American National Standards Institute
NFPA	National Fire Protection Association
SIPRA	Sistema integral de Protección contra Rayos
IEC	International Electrotechnical Commission
NPR	Nivel de Protección contra Rayos
UdeA	Universidad de Antioquia

RESUMEN

En el diseño de un sistema de protección externa contra rayos es necesario incluir el listado de materiales y su clasificación según sean las particularidades del sistema. El propósito de este proyecto, es desarrollar una herramienta que permita seleccionar los materiales y sus cantidades, teniendo en cuenta que según sean las características de la edificación a proteger, los elementos y sus especificaciones varían.

Se pretende realizar un estudio de las opciones brindadas actualmente en el mercado colombiano con respecto a los materiales, considerando: tipos de puntas, electrodos, bases, elementos de fijación, bajantes, cableado, soldaduras, entre otros, permitiendo observar las opciones disponibles para cada diseño.

Para conocer los materiales a consultar, se tienen en cuenta principalmente, la norma NTC-4552-3 la cual está asociada con elementos captadores, conductores bajantes y sistemas de puesta a tierra y el artículo 16 del RETIE, en el cual se determinan los materiales aplicables para el sistema de protección externa contra descargas atmosféricas.

Al final de este proyecto, se espera obtener una herramienta para la selección de materiales, en la cual se observen las diferentes opciones comerciales y sus características técnicas cuando aplique, con el fin de optimizar los tiempos de entrega de los productos asociados con el diseño del sistema de protección externa contra rayos.

***Palabras clave* — Protección externa contra rayos, apantallamiento, normas, sistema de puesta a tierra, optimización, cantidades de obra.**

ABSTRACT

In the design of an external lightning protection system, it is necessary to include the list of materials and their classification according to the particularities of the system. The purpose of this project is to develop a tool that allows the selection of materials and their quantities, taking into account that depending on the characteristics of the building to be protected, the elements and their specifications vary.

It is intended to carry out a study of the options currently offered in the Colombian market with respect to materials, considering: types of tips, electrodes, bases, fasteners, downspouts, wiring, welding, among others, allowing to observe the options available for each design. In order to know the materials to be consulted, the NTC-4552-3 standard is mainly taken into account, which is associated with collector elements, down conductors and grounding systems and article 16 of the RETIE, which determines the applicable materials for the external protection system against atmospheric discharges.

At the end of this project, it is expected to obtain a tool for the selection of materials, in which the different commercial options and their technical characteristics are observed when applicable, in order to optimize the delivery times of the products associated with the design of the external lightning protection system.

***Keywords* — External lightning protection, shielding, standards, grounding system, optimization, construction quantities**

I. INTRODUCCIÓN

La sociedad moderna requiere cada vez sistemas eléctricos más complejos y seguros. Por tal motivo, es objetivo de la empresa consultora y de diseños, crear soluciones que permitan brindar seguridad a sus clientes en cuanto al riesgo existente debido a descargas atmosféricas. Estos estudios y procedimientos se basan en normas como la NTC 4552, IEC 61024-1-1, BS 6651 y ANSI/NFPA 780, entre otras.

Tanto en el sector industrial como el residencial, los sistemas de protección externa contra rayos son fundamentales, con la creciente demanda en el sector construcción y las expansiones industriales, se hace evidente la constante demanda de todo tipo de productos y servicios asociados a los proyectos de la ingeniería eléctrica. Por tal razón, es necesario tener claro los componentes y cantidades para la construcción de los proyectos ordenados de una forma que permitan hacer eficiente la obtención de los mismos.

Para el desarrollo de este proyecto, es necesario conocer los diferentes procedimientos y materiales utilizados en la planeación, coordinación y ejecución a la hora de hacer efectiva la entrega de proyectos en INGETESA S.A. A los clientes que lo requieran, teniendo en cuenta las reformas y actualizaciones de las normas vigentes para el estudio de apantallamientos en edificaciones.

Se requiere crear una herramienta que permita obtener las cantidades de obra para el diseño planteado según sus características ya que el problema principal es que los empleados de Ingetesa no especifican los mismos materiales en los diseños de protección externa contra rayos. Por esta razón, se presenta la oportunidad de realizar las prácticas desarrollando esta labor.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Desarrollo de una herramienta computacional de estandarización, para la especificación de materiales, en la empresa INGETESA S.A. Con el propósito de disminuir los tiempos de ejecución de los proyectos de apantallamientos.

B. Objetivos específicos

Identificar elementos e insumos necesarios en un diseño de protección externa contra rayos y clasificarlos según se ofrezca en el mercado colombiano para cada caso particular de diseño.

Desarrollo de una herramienta para evaluar opciones de materiales, fichas técnicas y características cuando sea posible y si son aplicables para el proyecto en su ejecución.

Validación de la herramienta desarrollada en diseños realizados previamente para su implementación en proyectos futuros.

III. MARCO TEÓRICO

Los rayos son fenómenos meteorológicos de origen natural, sus parámetros son variables en el espacio-tiempo. Colombia se encuentra en una de las zonas con mayor actividad de rayos en el planeta, por tal razón se hace necesario un diseño responsable y detallado de los sistemas a implementar donde sean necesarios [1].

La medida más efectiva a la hora de proteger una estructura contra descargas eléctricas atmosféricas, es el sistema integral de protección contra rayos, denominado SIPRA por sus siglas. En el caso de protección externa, se diseña con diferentes propósitos como son:

- Interceptar impactos directos a la estructura por parte de un rayo (Captación).
- Conducir la corriente de la descarga atmosférica directamente y de manera segura a tierra (Sistema de bajantes).
- Dispersar y disipar la corriente en la tierra (Sistema de puesta a tierra o SPT).

El sistema de captación se compone por cualquier combinación de los siguientes elementos:

- Bayonetas (incluye mástiles autosoportados).
- Cables colgantes.
- Mallas de conductores.

A la hora de calcular el número de conductores bajantes se debe tener en cuenta que estos deben estar ubicados de forma tal, que al momento del impacto del rayo hasta a tierra se garanticen las siguientes condiciones:

- Existencia de caminos paralelos para la corriente.
- Longitud de los caminos de corrientes mínima.
- Equipotencialización a partes conductoras de la estructura según el numeral 6-2 de [2].

El sistema de puesta a tierra es utilizado para dispersar y disipar corrientes provenientes de los rayos y conducidos a través de los bajantes. En este sistema se debe procurar valores menores a 10Ω a baja frecuencia.

Para la construcción de los sistemas de puesta a tierra se tiene en cuenta dos tipos de arreglo principalmente:

Configuración tipo A:

Incluye electrodos verticales y horizontales que se conectan fuera de la estructura, conectados con cada bajante. El número total de electrodos no debe ser menor a 2.

Configuración tipo B:

Consiste en un anillo conductor exterior a la estructura en contacto con el suelo, no menos de un 80% de su longitud, o por los electrodos de la cimentación que han de estar enmallados [2].

En el capítulo 16 de [3], se hace mención de las características que deben cumplir los elementos de un sistema de protección externa contra rayos.

En la tabla 16.1 del RETIE, adaptación de las normas IEC 62305 e IEC 61024-1, se pueden observar las características: Materia, configuración, área mínima y diámetros y espesores mínimos.

En la tabla 16.2 se encuentran las distancias recomendadas entre conductores bajantes y anillos equipotenciales, teniendo en cuenta el Nivel de Protección contra Rayos (NPR).

La tabla 15.2 se basa en normas internacionales para recomendar los materiales y características de los electrodos de puesta a tierra. Y en la tabla 15.3 se mencionan y caracterizan los materiales para los conductores a tierra.

IV. METODOLOGÍA

Antes de comenzar el proyecto es necesario conocer el problema y las formas en las que se solucionan actualmente, revisar el procedimiento a la hora de la selección de materiales y revisar las recomendaciones por parte de los ingenieros de INGETESA S.A.

Posterior al análisis de la información inicial, se procede a consultar fuentes externas y posibles soluciones aplicables al problema en cuestión. Se revisa la información con el propósito de clasificarla según la identidad de la empresa.

Se planea una solución basada en la información seleccionada y se da inicio a la creación de la herramienta de selección de materiales, verificando constantemente la veracidad y aplicabilidad del proceso y la información.

Una vez se tengan avances en el producto, se realizan ajustes y validaciones con valores de referencias, hasta que el producto final cumpla con las expectativas y brinde la solución deseada por parte de INGETESA S.A. En la metodología se establecen los enfoques que se emplearon para desarrollar el trabajo (cualitativo, cuantitativo o mixto), las técnicas e instrumentos y fases de ejecución de la propuesta de prácticas.

V. RESULTADOS

A. Herramienta desarrollada.

Se creó una herramienta en el software Excel de Microsoft que permite elaborar una tabla de cantidades de obra para la construcción de sistemas de protección externa contra rayos y el sistema de puesta a tierra asociado a este.

Se consultaron diferentes proyectos asociados a la temática de este proyecto, se analizaron con el fin de extraer de estos, los materiales aplicables a cada caso particular y algunos que pudiesen ocurrir a futuro. El primer paso fue crear una base de datos que contuviese todos los materiales separados por categorías y subcategorías. Los materiales se ingresan según sea la ubicación de estos en el proyecto. Así que las categorías descritas fueron:

- Captadores.
- Anillo Superior.
- Bajantes.
- Brechas y Registros.
- Sistema de puesta a tierra.
- Sistemas Aislados.
- Postes.

A continuación, se presenta la manera en la que se organizó la información:

Categoría	Subcategoría	Producto	Unidad	Marca	Modelo	Precio Unitario	Descripción
Anillo superior	Adhesivos Anillo superior	Adhesivo Flex 310M	U	DEHN	13305310	136,520 COP	Adhesivo Flex 310M clásico gris 310ml, color gris, para pegado bases para puntas captoras y bases ref.297025 en anillo superior, bajantes, resistencia a
Anillo superior	Alambrón Anillo superior	Alambrón redondo 8 mm	ml	DEHN	AL-ALU 8mm	9,980 COP	Alambrón redondo D. 8 mm en aluminio para anillo superior y bajantes. Unidad de venta rollo x 100 m o 200 (+/- 5% aprox). Precio x ml.
Anillo superior	Bases Anillo superior	Soporte conductor Rd 8 36 mm	U	DEHN	DEHNSnap 36	9,380 COP	Soporte conductor Rd 8, altura 36 mm, color gris, para soporte de Anillo superior, resistencia al agua y
Anillo superior	Bases Anillo superior	Soporte conductor Rd 8 16 mm	U	DEHN	DEHNSnap 16	9,333 COP	Soporte conductor Rd 8, altura 16 mm, color gris, para soporte de Anillo superior, resistencia al agua y
Anillo superior	Bases Anillo superior	Base soporte anillo sin Adhesivo	U	DEHN	BP D40	17,962 COP	Base para soporte anillo sin Adhesivo. Para uso en cubiertas con superficie metálica ó plástica totalmente lisa.

Fig. 1. Base de datos principal.

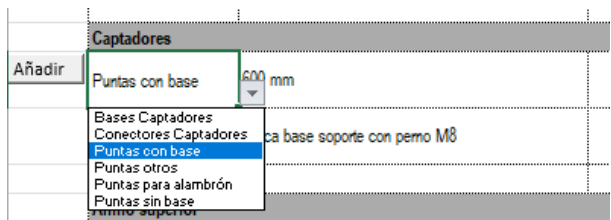
El funcionamiento de la herramienta se hace por medio de una hoja auxiliar, que funciona como interfaz de usuario para el ingreso de materiales.

El usuario ingresa los elementos que necesita de cada categoría y subcategoría, agregando nuevas filas al documento de usuario por medio del botón añadir.


LOGO DEL CLIENTE	
	
CATEGORIA	PRODUCTO
Captadores	
Añadir	Conectores
	Captadores
	Conector paralelo Rd 8-10 Acero inoxidable

Fig. 2. Ingreso de nuevos elementos para la tabla de cantidades.

Luego selecciona la subcategoría en la cual va a buscar el nuevo elemento.



a)



b)

Fig. 3. Selección del elemento.

Después de seleccionar el elemento requerido, se obtiene la información consignada en la base de datos principal, asociada a este.


		Código	Elaboró					
		Revisión	Revisó					
		Fecha	Aprobó					
CATEGORIA	PRODUCTO	CANTIDAD	UNIDAD	MARCA	MODELO	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	DESCRIPCIÓN
Captadores								
Conectores	Conector paralelo Rd 8-10 Acero inoxidable	3	U	DEHN	UTK 8.10 16 V2A*	COP 124,857	COP 373,971	Conector paralelo Rd 8-10 o conductores planos FL 30 en acero inoxidable para conductores redondos y planos, con 2 tornillos hexagonales M8 x 20 (VA).
Bases	Placa base soporte con perno M8	3	U	DEHN	BP D100 STTZN	COP 75,132	COP 225,396	Placa base soporte con perno M8 en acero galvanizado, para fijación de soportes para anillo superior, bajantes y punta captora, adhesión a superficie mediante Adhesivo o pernos

Fig. 4. Datos de los materiales para documento final.

Una vez finalizado el proceso con todas las categorías y subcategorías involucradas en el proyecto que se esté diseñando, se procede a generar el archivo final, el cual se envía al cliente para su revisión y posterior aprobación.

Registros y Brechas		
Brechas	Brecha sobre cesped	245
Registros	Registro 30x30	2
Registros	Caja de empalme 15 x 15	11

GENERAR DOCUMENTO

Fig. 5. Botón para generar el documento final.

LOGO DEL CLIENTE		Proyecto					
		Documento	CANTIDADES DE OBRA				
		Código	Elaboró				
		Revisión	Revisó				
		Fecha	Aprobó				
ITEM	DESCRIPCIÓN	MARCA	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	
Captadores							
1	Punta captora en aluminio redondeada en un extremo, 600 mm, D. 16 mm. Incluye base y conexión para conductor.	DEHN	3	U	COP 108,600	COP 325,800	
2	Placa base soporte con perno M8 en acero galvanizado, para fijación de soportes para anillo superior, bajantes y punta captora, adhesión a superficie mediante Adhesivo o pernos	DEHN	3	U	COP 75,132	COP 225,396	
Anillo superior							
1	Alambón redondo D. 8 mm en aluminio para anillo superior y bajantes. Unidad de venta rollo x 100 m o 200 (± 5% aprox). Precio x ml.	DEHN	511	ml	COP 9,980	COP 5,099,780	
2	Soporte conductor Rd 8, altura 36 mm, color gris, para soporte de Anillo superior, resistencia al agua y	DEHN	511	U	COP 9,380	COP 4,793,057	

Fig. 6. Documento final generado.

Gracias a la experiencia adquirida por medio de la observación de listados de materiales y catálogos proporcionados por los diferentes fabricantes que existen en el mercado actual, se creó una base de datos de imágenes para cada elemento consignado en la base de datos principal. Estas imágenes se almacenaron con la misma referencia utilizada en Excel, para buscarlos de una manera más fácil. El banco de imágenes se guardó en formato .jpg tal y como se observa a continuación:

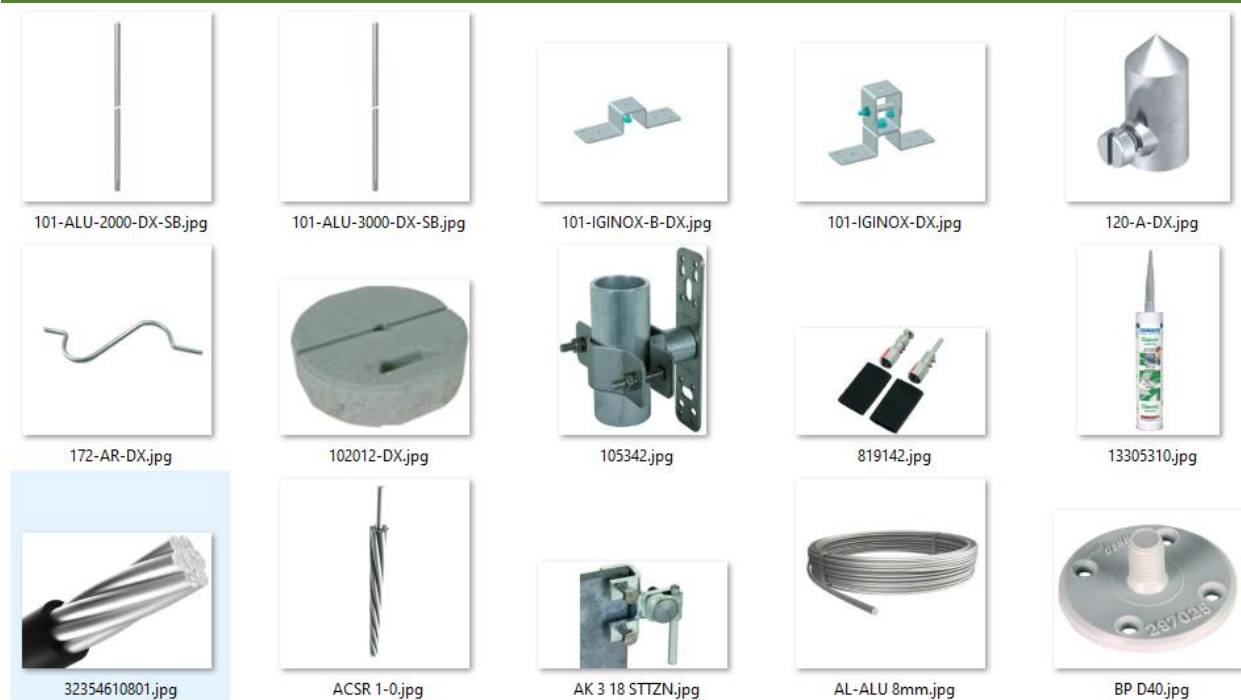


Fig. 7. Banco de imágenes de los materiales.

Las imágenes son una guía para quien realice el listado de materiales, esta permitirá observar el material que corresponde a cada ítem del listado principal, así evitando problemas asociados a el hecho de que quien realiza la búsqueda en muchas ocasiones puede recordar la forma física del material, pero no su referencia o descripción.



Descripción	
Adhesivo Flex 310M clásico gris 310ml, color gris, para pegado bases para puntas captoras y bases ref.297025 en anillo superior, bajantes, resistencia a rayos UV	
Alambroón redondo D. 8 mm en aluminio para anillo superior y bajantes. Unidad de venta rollo x 100 m o 200 (+/- 5% aprox). Precio x ml.	
Descripción	
Junta de dilatación D. 8 mm en aluminio para compensar los cambios de longitud por variaciones de temperatura en anillo superior	

Fig. 8. Imágenes en la base de datos principal.

Con el propósito de identificar de una manera gráfica el material que se requiere, se agregó una imagen que cambia al dar clic sobre cada elemento.

B. Comprobación de la herramienta.

Con el propósito de comprobar la aplicabilidad de la herramienta, se tomaron diferentes diseños de apantallamientos desarrollados por la empresa, en este caso se tomó como referencia uno de los proyectos realizados por INGETESA S.A.

En este proyecto se pretende realizar el diseño del apantallamiento de una edificación ubicada en el municipio de la Ceja, Antioquia.

Después de realizar el análisis de riesgo se determinó si era necesario utilizar medidas de protección aparte del apantallamiento y el radio de la esfera rodante según el nivel de riesgo determinado con la ayuda de la NTC 4552.

Se realizó un montaje de la edificación en el software SPEER, software propio de la empresa INGETESA S.A. con el cual se realiza la disposición de elementos captadores y un modelo tridimensional de la estructura a proteger.

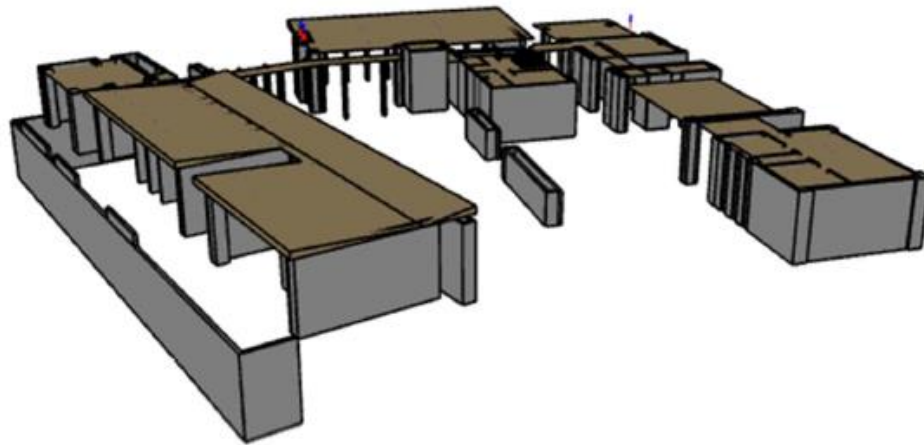


Fig. 9. Modelo 3D de la estructura a proteger.

Gracias a los datos ingresados en el software de modelo electrogeométrico SPEER, se puede determinar la cantidad y longitud de los elementos captadores.

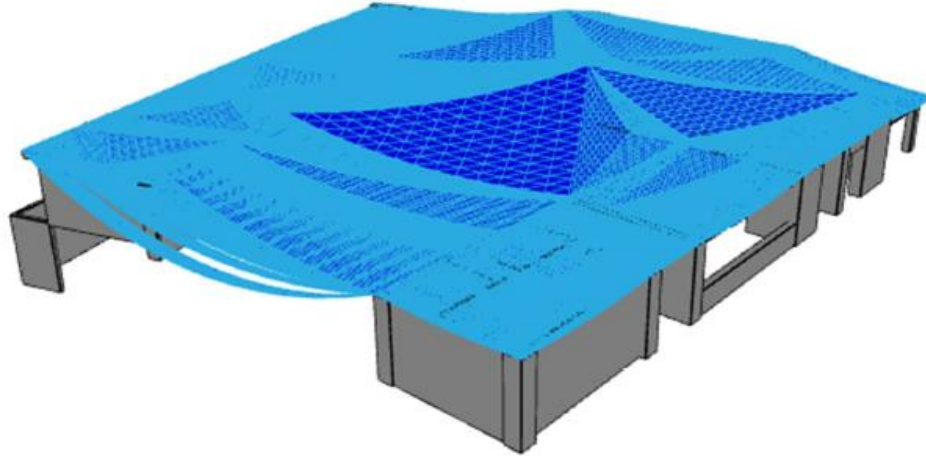


Fig. 10 Estructura protegida contra descargas atmosféricas.

Gracias a esto ya se puede comenzar el diseño en el software AutoCAD, de la disposición física de elementos captadores, con esto se comienza a diseñar la forma en la que se unen las puntas, sus bajantes y conexiones con el sistema de puesta a tierra asociado.

Para el diseño del sistema de puesta a tierra se realizaron medidas en el terreno sobre el que se va a construir la estructura.



Fig. 11. Medida de resistividad del terreno.

Con los resultados de la medida de resistividad del terreno, se puede realizar el diseño de la malla de puesta a tierra asociada al sistema de protección externo.

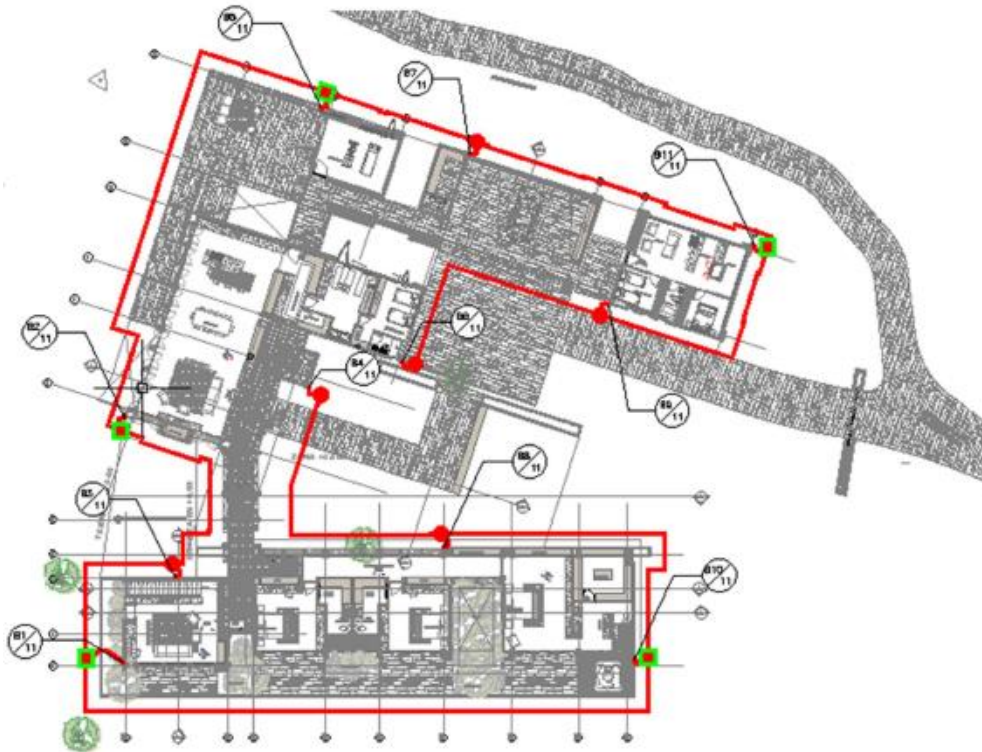


Fig. 12. Diseño del sistema de puesta a tierra.

De este plano es posible extraer las cantidades de obra del SPT, en los cuales se consideran los conductores, registros y elementos necesarios para interconectar el sistema de puesta a tierra.



Fig. 13. Plano del sistema del SPE.

Este plano contiene los elementos captadores del sistema, marca los bajantes, y el recorrido de los conductores que unen las diferentes partes del sistema, de este plano, sus vistas y detalles, se extraen los materiales del sistema de protección externa SPE.

De este proyecto se sacaron los siguientes listados de materiales, de manera manual, sin tener en cuenta referencias específicas, ni precios.



	A	B	C	D
1			CANTIDADES DE OBRA	
2	CASA L.L. LA CEJA			
3	Item	Descripción	Unidad	Cantidad
4				
5	1	Punta Franklin de una sola asta (incluido soporte y fijación)	u	3
6		Altura de 0,60 m	u	3
7	2	Cable de Aluminio 1/0 AWG Aislado (incluido accesorios de fijación)	m	61
8		Bajantes	m	61
9				
10	3	Cable de Aluminio 1/0 AWG Desnudo o Alambrón de 8 mm	m	532
11		Anillo equipotencial expuesto	m	511
12		Interconexión punta - anillo en aluminio (Longitud punta + 0,5 m por cada punta)	m	5
13		Cola de equipotencialización Apantallamiento - estructuras metálicas. (de 1,5m de cable)	m	17
14				
15	4	Cable de Cobre Desnudo 1/0 AWG	m	315
16		SPT de apantallamiento (enterrado en terreno natural)	m	282
17		Interconexión SPT - bajantes (1,5 m de cable por cada bajante)	m	17
18		Cola de equipotencialización SPT - Acero de refuerzo. (de 1,5m de cable)	m	17
19				
20	5	Tubería IMC de 1" de diámetro (incluye accesorios de fijación)	m	53
21		Para bajantes expuestos en fachada	m	53
22				
23	6	Boquilla de 1" con conector de puesta a tierra para tubo metálico	u	22
24		Bajantes en tubería IMC (2 por bajante)	u	22
25				
26	7	Varillas de cobre de 2,4 m, 5/8" de diámetro	u	11
27		SPT Apantallamiento	u	11
28				
29	8	Demolición, brecha de 40 cm de ancho por 60 cm de profundidad, lleno, votado de escombros y reposición de piso con acabado final igual al existente.	m.l.	245
30				

Fig. 14. Cantidades de obra del proyecto.

Se aplicó la herramienta a este caso, tratando de replicar los materiales utilizados, con una descripción mucho más detallada y con un mayor grado de especificación del material.

LOGO DEL CLIENTE		Proyecto	CANTIDADES DE OBRA			
		Documento				
		Código	Elaboró			
		Revisión	Revisó			
		Fecha	Aprobó			
ITEM	DESCRIPCIÓN	MARCA	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Captadores						
1	Punta captora en aluminio redondeada en un extremo, 600 mm, D. 16 mm. Incluye base y conexión para conductor.	DEHN	3	U	COP 108,600	COP 325,800
2	Placa base soporte con perno M8 en acero galvanizado, para fijación de soportes para anillo superior, bajantes y punta captora, adhesión a superficie mediante Adhesivo o pernos	DEHN	3	U	COP 75,132	COP 225,396
Anillo superior						
1	Alambrón redondo D. 8 mm en aluminio para anillo superior y bajantes. Unidad de venta rollo x 100 m o 200 (+/- 5% aprox). Precio x ml.	DEHN	511	ml	COP 9,980	COP 5,099,780
2	Soporte conductor Rd 8, altura 36 mm, color gris, para soporte de Anillo superior, resistencia al agua y temperatura.	DEHN	511	U	COP 9,380	COP 4,793,057
3	Conector paralelo Rd 8-10 o conductores planos FL 30 en acero inoxidable para conductores redondos y planos, con 2 tornillos hexagonales M8 x 20 (VA).	DEHN	30	U	COP 85,028	COP 2,550,826
4	Adhesivo Flex 310M clásico gris 310ml, color gris, para pegado bases para puntas captoras y bases ref.297025 en anillo superior, bajantes, resistencia a rayos UV	DEHN	2	U	COP 136,520	COP 273,040
Bajantes						
1	TUBO IMC 1" X3MTRS COLMENA	COLMENA	18	Tramo 3 m	COP 83,000	COP 1,494,000
2	Boquilla CROUSE HINDS de 1 1-2 Pulgadas en Hierro con puesta a Tierra en Aluminio	CROUSE HINDS	22	U	COP 25,000	COP 550,000
3	Cable de Aluminio Aislado No 1-0 AWG Serie 8000 Libres de Halogenos Metro	PROCABLES	61	m	COP 6,500	COP 396,500
4	CB5 - Cinta Bandit 1-2" Eagle Simelca	SIMELCA	3	m	COP 3,800	COP 11,400
5	GR5B Grapa para Cinta Bandit de 1-2"	SIMELCA	6	U	COP 700	COP 4,200

Puesta a tierra						
1	Varilla Cooper Weld de 14 28MM x 2 40 de Cobre Macizo	COOPER WELD	6	U	COP 206,160	COP 1,236,960
2	Soldadura Exotérmica 90gr Fastweld	FASTWELD	3420	g	COP 300	COP 1,026,000
3	Cable de Cobre Desnudo 1-0 AWG	PROCABLES	315	ml	COP 33,550	COP 10,568,250
Registros y Brechas						
1	Demolición, brecha de 40 cm de ancho por 60 cm de profundidad, llenado con un acabado final igual o similar al existente	N-A	245	ml	COP 100,000	COP 1,236,960
2	Caja 30x30: Pintado en anticorrosivo gris con paredes en concreto. Tapa: Platina de hierro, varillas corrugadas, puntos de soldadura y concreto a 4000 psi.	FORMAS ELÉCTRICAS	2	U	COP 100,000	COP 1,026,000
3	Caja Empalme 15 X 15 X 10cm Tercol	TERCOL	11	U	COP 25,000	COP 10,568,250

Fig. 15. Resultado final.

VI. ANÁLISIS

A. Comparación de la herramienta propuesta vs el método actual

En comparación con el método que se venía implementando, el resultado obtenido cuenta con mucha más información, tanto para el cliente, como para el diseñador del sistema. La base de datos permite obtener la información esperada, de forma tal, que, si los productos o referencias cambian en el tiempo, sea fácil para el personal de la empresa, actualizar la información y seguir obteniendo un resultado satisfactorio.

La manera en la que se seleccionan los ítems para generar el producto final, facilita la comprobación de los materiales necesarios, gracias a que las categorías no son más que los componentes principales del sistema diseñado, gracias a esto, se puede detectar fácilmente si hace falta algún elemento e ingresarlo en la categoría y subcategoría correspondiente.

B. Comprobación de la aplicabilidad

Gracias a que en la empresa se realizan apantallamientos para industrias y edificaciones de todo tipo, fue posible comprobar que la herramienta se adapta a casos particulares, de ser necesario se pueden agregar nuevos materiales en la base de datos, lo que hace que esta no se vuelva obsoleta o caiga en desuso por dificultades inherentes a la facilidad en la actualización de los datos.

Este programa se constituye como una referencia de procesamiento de información al interior de la empresa, lo que permite que, siguiendo la misma forma de elaboración, se creen herramientas que cumplan el mismo propósito, en proyectos de ingeniería eléctrica diferentes a los tratados en este documento.

VII. CONCLUSIONES

La creación de herramientas para elaboración de listados permite estandarizar y brindar herramientas a los diseñadores de un SIPRA evitando emplear largos tiempos en investigación de opciones de materiales, los listados obtenidos brindan la capacidad de obtener de manera automática un resultado en un menor tiempo del que se empleaba anteriormente.

Se identificaron de manera efectiva, los materiales necesarios para desarrollar este tipo de proyectos, teniendo en cuenta las diferentes marcas, lo que permite tomar la solución que más se adapta a cada caso específico.

Tras la validación de la herramienta se pudo corroborar su funcionamiento y aplicabilidad ante diferentes escenarios, con particularidades y criterios de diseño propios de la empresa INGETESA S.A.

La organización de la información es necesaria para estandarizar los procesos, para el caso propuesto, se garantiza que el formato en el cual se presentan los materiales sea siempre el mismo. Adicional a esto, es posible realizar modificaciones y actualizaciones en la base de datos principal de una forma fácil e intuitiva, lo que permite que la herramienta se alimente constantemente adaptándose a los cambios de la normativa referente y a los nuevos métodos de construcción de diversos materiales, así estos se actualicen y cambien su forma física en el tiempo.

A lo largo del desarrollo del proyecto de prácticas, se desarrollaron conocimientos y habilidades en áreas como el diseño, relacionamiento con distribuidores y clientes, conocimientos sobre métodos de medición y análisis de datos e información y resolución de problemas. Estableciendo como prioridad la ética y seguridad de las personas e información de los clientes y la empresa.

REFERENCIAS

- [1] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Assessment of the risk of damage due to lightning. Geneve, Suiza: IEC, 1995, 132.: il. (CEI/IEC 61662).
- [2] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Protección contra rayos: Daños físicos a estructuras y amenazas a la vida. Bogotá: ICONTEC. 2004. 45 P.: il. (NTC 4552-3).
- [3] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. REGLAMENTO. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas: RETIE. Bogotá. MinMinas, 2004. 119 p.:il (RETIE) Fundación del Español Urgente [Fundéu], “Fundéu BBVA: cómo diferenciar «si no» y «sino»,” 2012. <https://bit.ly/3oBTGP9>.