

## EVOLUCION DE LOS METODOS DE PROTECCION CONTRA LAS DESCARGAS ELECTRICAS ATMOSFÉRICAS (RAYOS)

PRIMERA GUIA DE DISEÑO PARA LA PROTECCION.

EL CONO DE PROTECCION:

“EL CONCEPTO DE ZONAS DE PROTECCION FUE PRIMERAMENTE POSTULADO EN EL SIGLO XVIII”

ES OBVIO QUE QUIEN LO POSTULO, NO TENIA NINGUN FUNDAMENTO, NI TECNICO NI CIENTIFICO, YA QUE LA “LEY DE OHM” QUE ES DE DONDE PARTE EL DESARROLLO DE LA ELECTRICIDAD APARECE HASTA EL SIGLO XIX (1827).

LA CONFERENCIA SOBRE PUNTAS PARARRAYOS DE BATH EN 1882 APOYO EL CONCEPTO DEL CONO DE PROTECCION 1:1 CON LA CONDICION DE QUE NO SIEMPRE SE PODIA CONFIAR EN EL.

EL CONCEPTO DE CONO DE PROTECCION ES EL MÁS ANTIGUO QUE EXISTE EN MATERIA DE “PROTECCION” CONTRA RAYOS. LA SIGUIENTE FIGURA MUESTRA UNA “RECOMENDACIÓN” TOMADA DE LA NORMA IEC, PARA ESTRUCTURAS DE HASTA 60 METROS DE ALTURA.

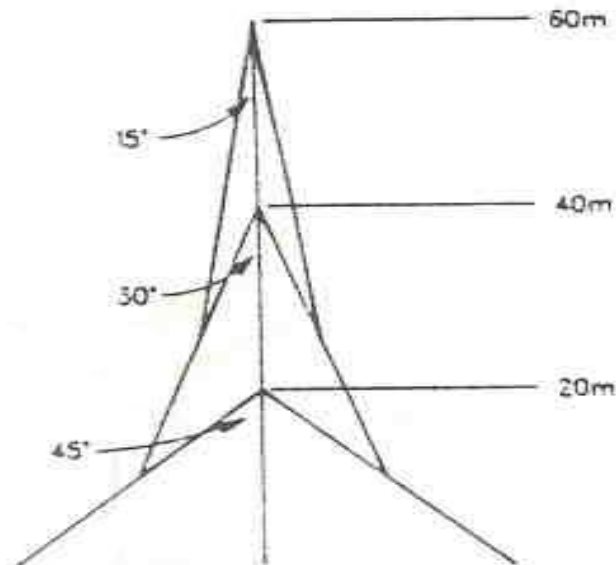


Figura No. 4. PROYECTO DE CODIGO IEC.

## ESFERA RODANTE:

EL CONCEPTO DE ESFERA RODANTE ASIGNA UN RADIO A UNA ESFERA "IMAGINARIA" QUE ES DE IGUAL MAGNITUD QUE LA DISTANCIA DE IMPACTO. ESTA ESFERA "IMAGINARIA" SE HACE RODAR VERTICALMENTE SOBRE UNA ESTRUCTURA Y TODOS LOS PUNTOS DE CONTACTO QUE SE CONSIDERA QUE NECESITAN TERMINALES AEREOS.

ESTE CONCEPTO HA SIDO ADOPTADO POR MUCHOS COMITES DE NORMALIZACION SIGUIENDO LOS COMENTARIOS FAVORABLES DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA QUIENES LA DESARROLLARON. EN ESA APLICACIÓN, LA ESFERA SE "HACE" RODAR SOBRE LAS LÍNEAS DE TRANSMISION QUE SON ESCENCIALMENTE BIDIMENSIONALES. ES DECIR, LAS LINEAS TIENEN LARGO Y ALTO, QUE VARIAN EN FORMA MUY LIMITADA.

LA LIMITACION PRINCIPAL EN EL USO DE LA ESFERA RODANTE ES QUE ESTA ASIGNA UNA HABILIDAD DE INICIACION DE LIDERES IGUAL EN TODOS LOS PUNTOS DE TOQUE, SIN IMPORTAR NINGUNA INTENSIFICACION DEL CAMPO ELECTRICO CAUSADA POR LA FORMA GEOMETRICA. EN EL CASO DE LINEAS DE TRANSMISION LOS PUNTOS DE CONTACTO SON ALAMBRES HORIZONTALES DE SECCION UNIFORME Y ALTURA MEDIA EN DONDE EL CONCEPTO DE DISEÑO ESTA JUSTIFICADO.

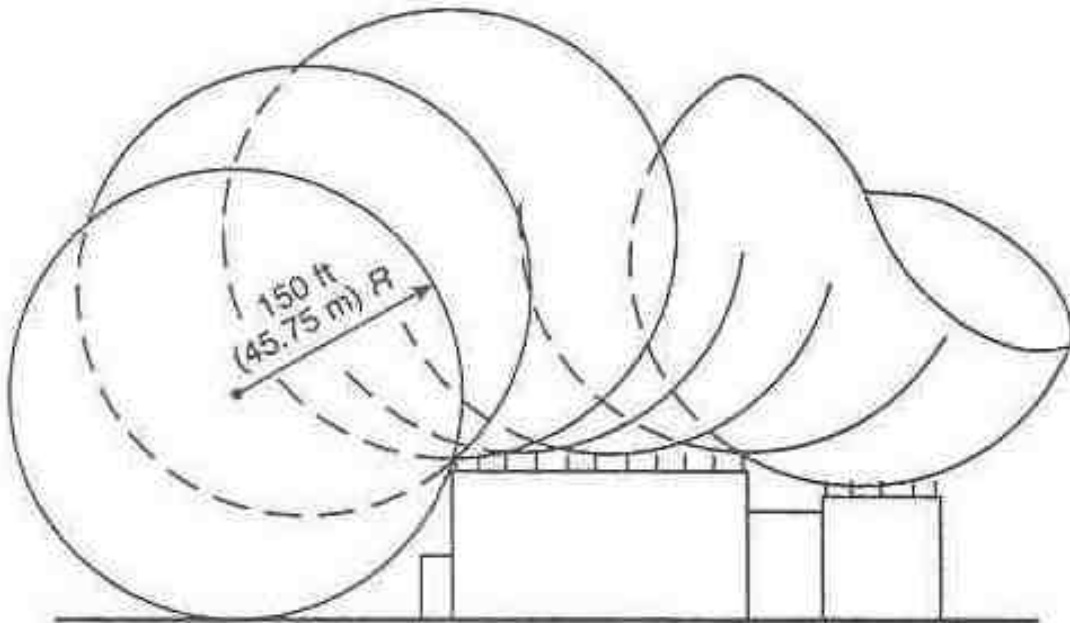
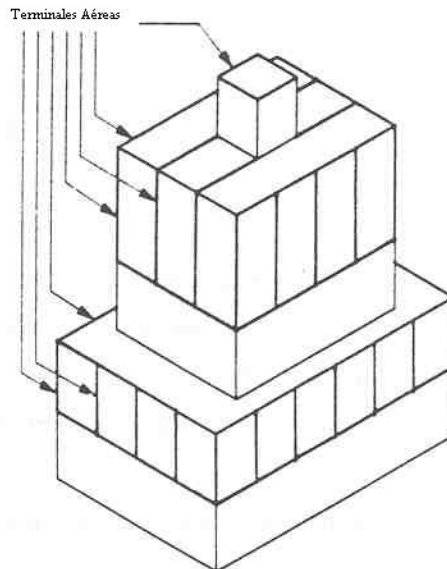
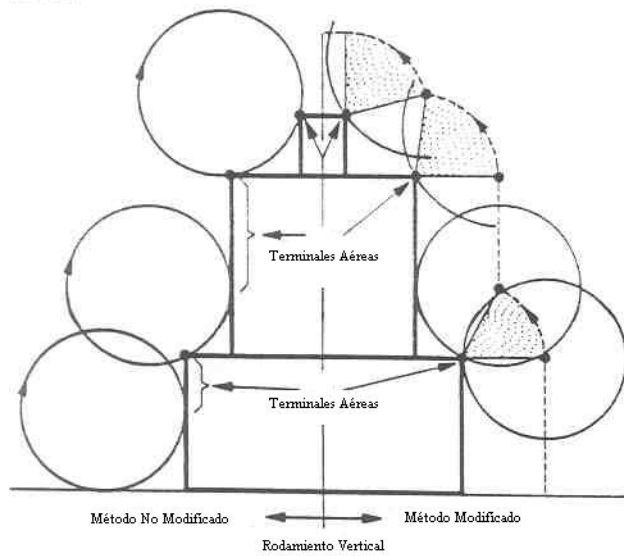


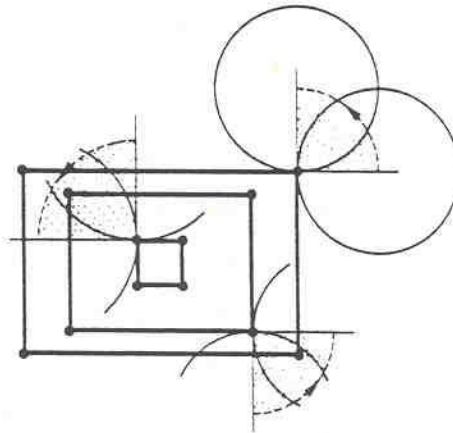
Figura No. 5. MODELO DE LA ESFERA RODANTE.

## ESFERA RODANTE MODIFICADA.

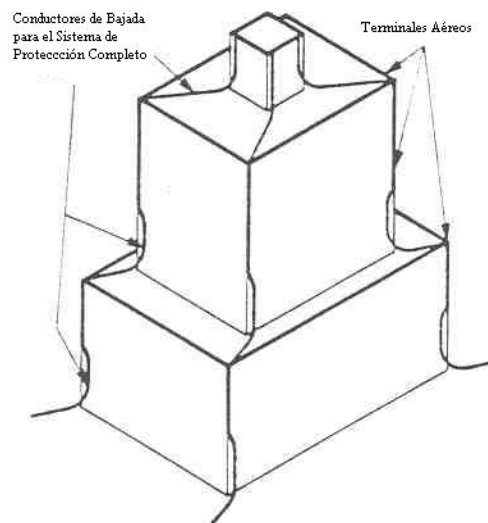
LA ESFERA RODANTE MODIFICADA PUEDE LLEVAR A SOBRE DISEÑO. POR LO QUE HA HABIDO RECHAZO DE LA INDUSTRIA DEBIDO A SU COSTO. EL SOBRE DISEÑO CONSISTE EN LA COLOCACION DE TERMINALES AEREOS EN DONDE UN IMPACTO DE RAYO SERIA UNA EXTREMA RAREZA.



Terminales Aéreas Requeridos Usando el Método "Esfera Rodante" No Modificado



Rodamiento Horizontal Usando el Sistema Modificado



Sistema de Protección Completo Usando el Método de la Esfera Rodante Modificado

**Figura No. 6. COMPARACION DEL CONCEPTO DE LOS METODOS DE DISEÑO DE “ESFERA RODANTE” Y “ESFERA RODANTE MODIFICADA” PARA ESTRUCTURAS ALTAS.**

## HEMISFERIOS Y VOLUMENES DE COLECCIÓN:

EL LIDER DEL RAYO DE PROPAGACION DESCENDENTE LLEVA UNA CARGA ELECTRICA DISTRIBUIDA QUE SE MANIFIESTA EN LA CABEZA O PUNTA DEL LIDER. ESTA CARGA ORIGINA UN RAPIDO ESCALAMIENTO DEL CAMPO ELECTRICO ALREDEDOR DE LOS PUNTOS ATERRIZADOS. LOS PARAMETROS DE DISEÑO INCLUYEN ALTURA DE LA ESTRUCTURA, INTENSIFICACION DEL CAMPO DE LAS PROYECCIONES ESTRUCTURALES, CARGA DEL LIDER, ALTURA DEL SITIO Y VELOCIDADES DE PROPAGACION RELATIVAS DE LOS LIDERES INTERCEPTANTES. EL MODELO PUEDE DESARROLLARSE PARA ESTRUCTURAS TRIDIMENSIONALES Y OFRECE UNA MANERA MAS RIGUROSA DE TRAZAR EL DISEÑO DE UNA PROTECCION CONTRA RAYOS.

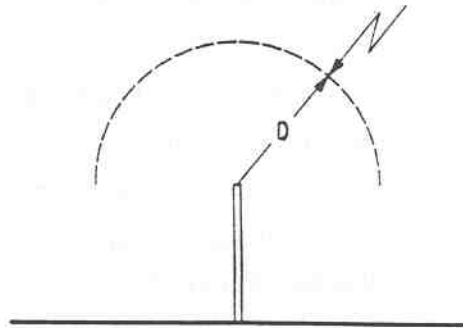
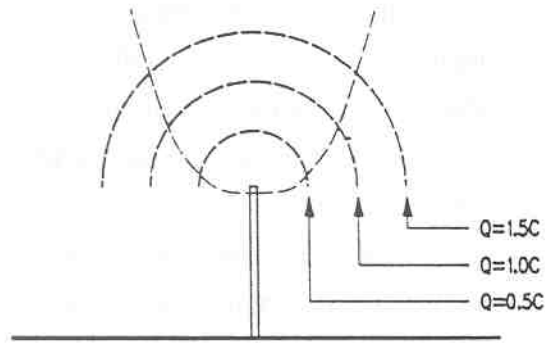


Figura No. 7. Hemisferio de Distancia de Impacto

EN LA SIGUIENTE FIGURA LOS FACTORES DE VELOCIDAD INVOLUCRADOS MUESTRAN QUE NO TODOS LOS LIDERES QUE PENETRAN UN HEMISFERIO DE DISTANCIA DE IMPACTO PROCEDERAN A INTERCEPCION. LOS LIDERES QUE PENETRAN LA PERIFERIA EXTERIOR DE LOS HEMISFERIOS ES MUY PROBABLE QUE CONTINUARAN SU MOVIMIENTO DESCENDENTE Y QUE INTERCEPTEN UN LIDER ASCENDENTE DIFERENTE. ESTO LLEVA A DESARROLLAR UNA PARABOLA LIMITANTE DERIVADA DE LA VELOCIDAD. EL VOLUMEN ENCERRADO SE CONOCE COMO "VOLUMEN DE COLECCIÓN". UN LIDER DESCENDENTE EN DESARROLLO QUE PENETRA ESTE VOLUMEN, ASEGURA SU INTERCEPCION



**Figura No. 8. Hemisferios limitados por la Parábola de Velocidad.**

**ESTUDIOS DE CAMPO HAN MOSTRADO QUE HAY UN GRADO DE CORRELACION ENTRE LA CARGA DEL LIDER Y LA CORRIENTE PICO EN LA DESCARGA SUBSECUENTE, UNA RELACION EMPIRICA ESTA DADA POR:**

$$I = 10.6 Q^{0.7}$$

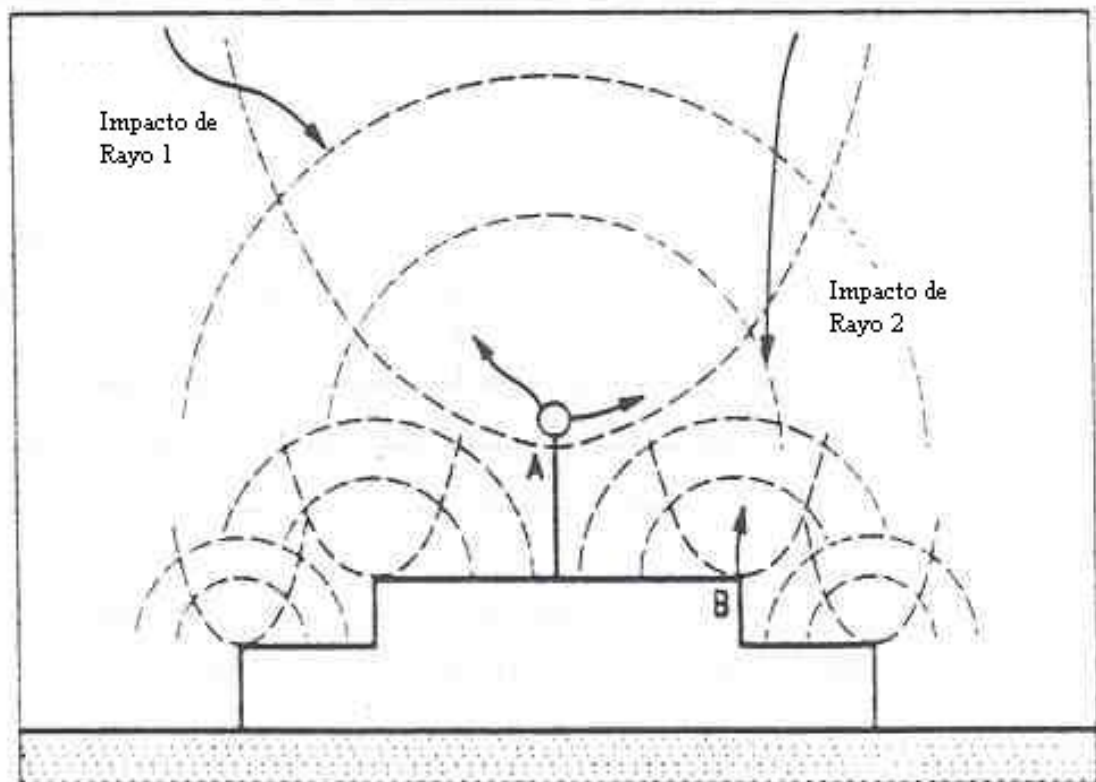
**DONDE “I” ESTA MEDIDO EN KA Y “Q” EN COULOMBS. UNA DESCARGA TIPICA DE 25 KA DE CORRIENTE PICO CORRESPONDERIA A UNA CARGA LIDER DE APROXIMADAMENTE 3.3 COULOMBS. ESTA RELACION PUEDE USARSE PARA DETERMINAR DISTANCIAS USANDO LA SIGUIENTE EXPRESION QUE HA SIDO DESARROLLADA EMPIRICAMENTE.**

$$Ds = 10 I^{0.65}$$

**DONDE “Ds” ES LA DISTANCIA DE IMPACTO EN METROS E “I” ES LA CORRIENTE PICO SUBSECUENTE EN “KA”.**

**ESTAS EXPRESIONES PUEDEN POSTERIORMENTE USARSE EN CONJUNTO CON LA GAMA DE PARAMETROS DE RAYO OBSERVADOS PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE RIESGO DE QUE LOS RAYOS SE DESVIEN DEL SISTEMA DE PROTECCION.**

**EXISTEN TABLAS DE CALCULO CON PARAMETROS DE RAYOS PRODUCTO DE DATOS ESTADISTICOS GENERALMENTE ACEPTADAS. EL DISEÑO CON VOLUMENES DE COLECCIÓN USANDO PARAMETROS DE RAYO DERIVADOS ESTADISTICAMENTE, LE PROVEE A LOS DISEÑADORES UN MEJOR ANALISIS DE RIESGOS.**



**Figura No. 9. VOLUMENES DE COLECCIÓN EN LA PRACTICA.**

**EN LA FIGURA SE MUESTRA UN EJEMPLO DE DISEÑO DE VOLUMEN DE COLECCIÓN. EN EL IMPACTO 1 A LA IZQUIERDA, SE ASUME UN LIDER CON UNA GRAN CARGA. AL PENETRAR EL HEMISFERIO SUPERIOR, ESTE PUEDE INICIAR UN LIDER INTERCEPTOR ASCENDENTE DESDE EL PUNTO "A" ANTES DE QUE OCURRAN CONDICIONES CRÍTICAS EN OTRAS PARTES DE LA ESTRUCTURA.**

**EN EL CASO DEL IMPACTO 2, A LA DERECHA, LA CARGA DEL LIDER ES MENOR Y POR ESO SE APROXIMA MAS CERCA DE LA ESTRUCTURA. EN ESTE CASO, ESTE PODRIA DESVIAR EL TERMINAL AEREO CENTRAL EN EL PUNTO "A" Y AVANZAR HASTA EL PARAPETO DE LA ESTRUCTURA EN EL PUNTO "B". EL PUNTO "A", AUN PODRIA ORIGINAR UN LIDER ASCENDENTE.**

**HASTA AQUÍ EL ANALISIS SOBRE LA EVOLUCION DE LOS SISTEMAS DE "PROTECCION" CONTRA RAYOS USANDO LAS "PUNTAS PARARRAYOS", "ELECTRODOS FRANKLIN", O "TERMINALES AEREOS" EN DONDE EN FORMA PROGRESIVA Y APOYADOS POR OBSERVACIONES Y DATOS ESTADÍSTICOS QUE EN DETERMINADO MOMENTO SIRVIERON PARA DESARROLLAR "FORMULAS EMPIRICAS", Y "CRITERIOS DE DISEÑO" NO**

**SOPORTADOS POR LA INFRAESTRUCTURA TECNOLÓGICA DISPONIBLE HASTA 1990.**

- 1. CONO DE PROTECCIÓN**
- 2. ESFERA RODANTE**
- 3. ESFERA RODANTE MODIFICADA, Y**
- 4. HEMISFERIOS Y VOLUMENES DE COLECCIÓN.**

**A PARTIR DEL DESCUBRIMIENTO DE LA “IONIZACIÓN DE LOS GASES” A PRINCIPIOS DEL SIGLO XX, SE OBSERVO QUE EL “AIRE IONIZADO” PRODUCE UN FLUJO DE CORRIENTE ELÉCTRICA QUE REDUCE EL CAMPO ELÉCTRICO. ESTA ACCIÓN OCURRE CUANDO LA FUERZA DEL CAMPO ELÉCTRICO ES TAN BAJA COMO  $2 \text{ kV} \times \text{m}^{-1}$ . DENSIDADES DE CORRIENTE DE 10 nano AMPERES  $\times \text{m}^{-2}$ , HAN SIDO OBSERVADAS CUANDO LA FUERZA DEL CAMPO DEL CAMPO ELÉCTRICO ES DE  $10^4 \text{ V} \times \text{m}^{-1}$ . EN 1925, WILSON DEMOSTRO “QUE ESTAS CORRIENTES DE ““DESCARGA DE PUNTA””, ACTUAN PARA LIMITAR LA MAGNITUD DEL CAMPO ELÉCTRICO CERCA DE LA TIERRA Y QUE EN LA PRESENCIA DE ESTAS CORRIENTES, LA FUERZA DEL CAMPO ELÉCTRICO BAJO UNA TORMENTA MUY INTENSA, DEBERIA INCREMENTARSE CON LA ALTURA”. ASI ES COMO SE FORMULA EL PRINCIPIO DE ELECTROSTÁTICA DE LA “DESCARGA DE PUNTA” QUE DICE: “CUANDO UNA ESTRUCTURA EN FORMA DE PUNTA ESTÁ INMERSA EN UN CAMPO ELÉCTRICO, EMPEZARA A IONIZAR LAS MOLECULAS DEL AIRE A SU ALREDEDOR A MEDIDA QUE SE INTENSIFICA ESE CAMPO ELÉCTRICO”.**

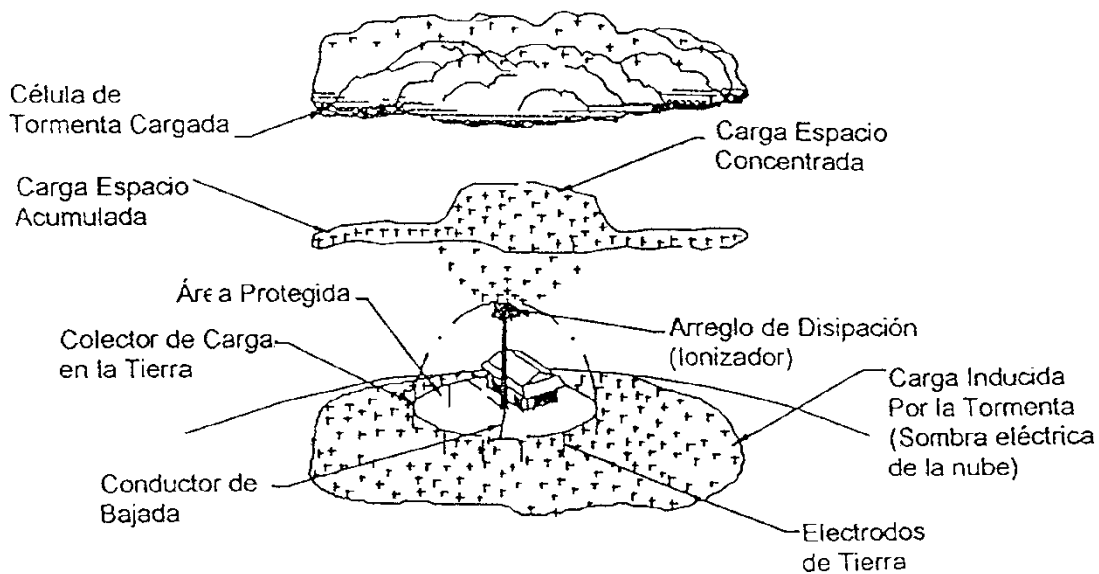
**A PRINCIPIOS DE LOS AÑOS 70's, APARECIERON DOS NUEVOS METODOS O SISTEMAS PARA EL “TRATAMIENTO” DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS, UNO DE ELLOS CON PUNTAS PARARRAYOS MODIFICADAS CONOCIDO COMO “EARLY STREAMER EMISSION” [ESE] O EMISIÓN DE FLAMULA TEMPRANA EN EL CUAL SE DICE QUE SE INCREMENTA LA IONIZACIÓN PARA PROVOCAR LA DESCARGA ELÉCTRICA TEMPRANA Y EL OTRO SISTEMA CONOCIDO COMO “DISSIPATION ARRAY SYSTEM” [DAS] AL CUAL EL AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE [API] Y EL IEEE LE DIERON EL NOMBRE GENÉRICO DE “CHARGE TRANSFER SYSTEM” [CTS] O SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CARGA. ESTE ÚLTIMO SE BASA EN EL PRINCIPIO DE LA “DESCARGA DE PUNTA”.**



A PARTIR DE 1980 SURGIO UNA CLASIFIACION DE LOS SISTEMAS DE "PROTECCION" PARARRAYOS COMO SIGUE:

1. SISTEMAS "COLECTORES" QUE UTILIZAN LOS ELECTRODOS FRANKLIN, PUNTAS PARARRAYOS O TERMINALES AEREOS, CONVENCIONALES UTILIZADOS EN LOS METODOS: DEL CONO DE PROTECCION, LA ESFERA RODANTE, LA ESFERA RODANTE MODIFICADA, EL DE HEMISFERIOS Y VOLUMENES DE COLECCIÓN, Y EL ESE.
2. SISTEMAS PREVENTORES DAS/CTS O DE TRANSFERENCIA DE CARGA QUE USAN DISPOSITIVOS MULTIPUNTAS.

DE ACUERDO CON LA CLASIFICACION ANTERIOR, LOS SISTEMAS PREVENTORES O DAS/CTS FUNCIONAN EN FORMA DIFERENTE. ESTO ES, LOS SISTEMAS "COLECTORES" ATRAEN O COLECTAN LA DESCARGA ELECTRICA ATMOSFERICA Y LOS "PREVENTORES" TRANSFIEREN A LA ATMOSFERA LA CARGA ELECTRICA DEL AREA PROTEGIDA BASANDOSE EN EL PRINCIPIO DE LA "DESCARGA DE PUNTA"



**Figura No. 10. CONCEPTO DEL SISTEMA DE ARREGLO DE DISIPACION (DAS)/CTS) SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CARGA.**