

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
POLITÉCNICA
"ANTONIO JOSÉ DE SUCRE"
VICERRECTORADO BARQUISIMETO

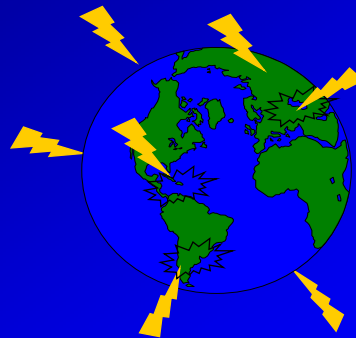
EFFECTOS DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS



CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE PROCESOS
LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN
Ing. María Carolina Blanco, Dr. C
Ing. Carmen Luisa Vásquez, Dr. C

EN EL PLANETA:

- 2000-5000 tormentas / día
- 100 rayos impactan el suelo / s





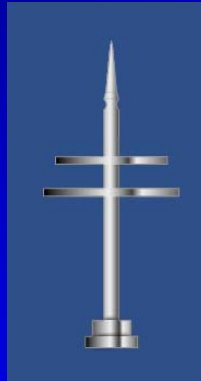
EJEMPLO DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN DE EQUIPOS E INMUEBLES



PUNTA
FRANKLIN



DESCARGADOR
CUATRO PUNTAS

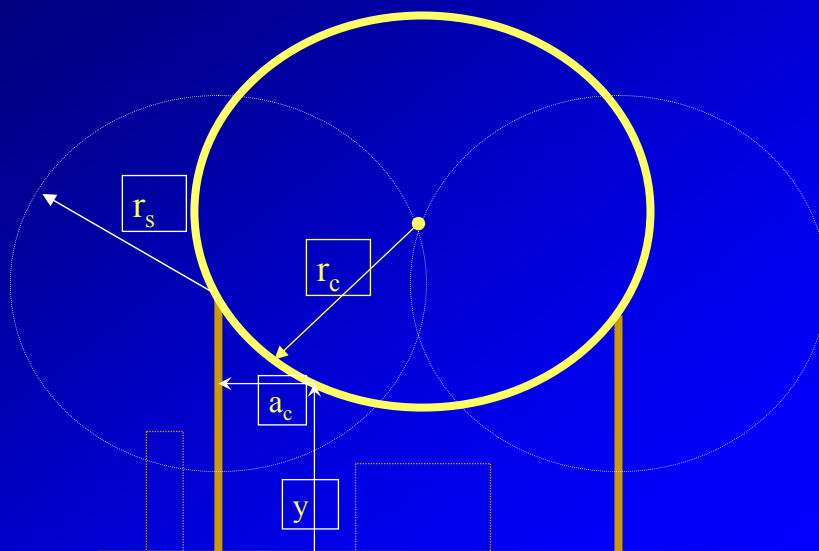


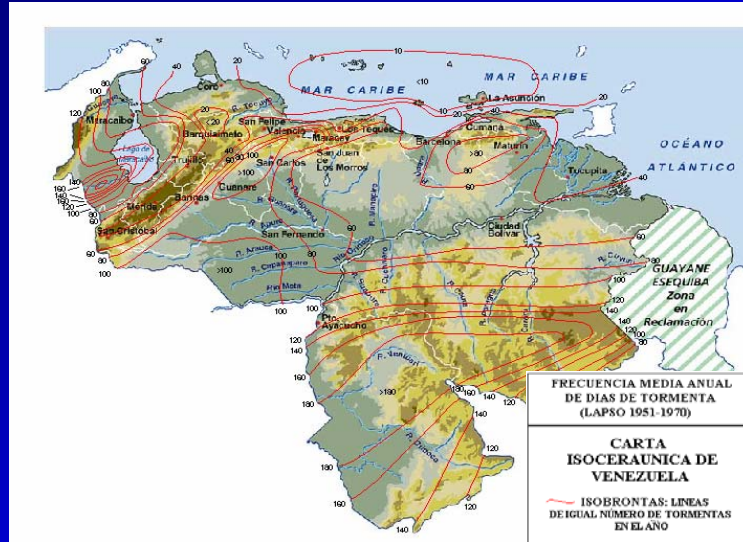
IONIZANTE NO
RADIOACTIVO



INHIBIDOR DE
DESCRAGAS
ATMOSFERICAS

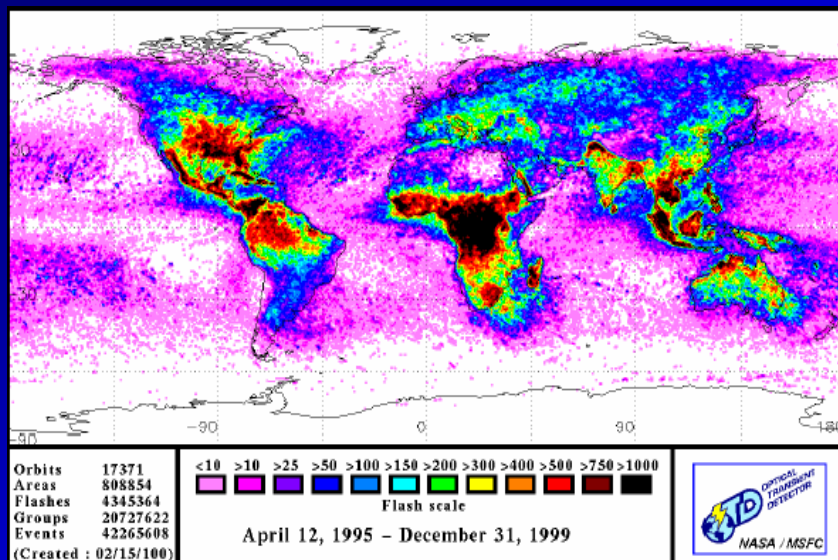
APANTALLAMIENTO MEDIANTE CABLES DE TIERRA





ANTECEDENTES

- Principios científicos planteados por Wilson (1920) y Whipple y Brooks (1929), sobre el *Circuito Eléctrico Global*.



HIPÓTESIS

“Las magnitudes de los parámetros de la descarga eléctrica atmosférica utilizadas en aplicaciones de ingeniería varían espacial y temporalmente”.

H. Torres / PAAS-UN, Colombia 1990

PERPESTIVA TEMPORAL



- Diaria.
- Mensual (*Latitudes Tropicales*).
- Estacional (*Latitudes Templadas*).
- Multianula.

PERPESTIVA ESPACIAL

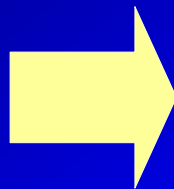


- Global.
- Regional.
- Local.

ESPACIO

+

TIEMPO



PROBABILIDAD

TIEMPO ATMOSFÉRICO + CLIMA

- Caracterización del Clima.
- Clasificación de la regiones del planeta en categorías
- Clasificación regional del fenómeno del Rayo

Cuando los investigadores en física del Rayo procedieron a clasificar las diferentes regiones de la tierra, sólo tuvieron en cuenta los datos de mediciones locales en latitudes templadas y generalizaron para todo el planeta

PARÁMETROS DEL RAYO EN APLICACIONES DE INGENIERÍA

- Parámetros de incidencia:
 - Densidad de descargas a tierra (*Ground Flash Density*).
 - Nivel ceráunico (*Keraunic Level*).
 - Polaridad del rayo (*Flash Polarity*).
 - Multiplicidad (*Multiple Stroke Flashes*).
 - Duración e intervalo entre descargas individuales.

PARÁMETROS DEL RAYO EN APLICACIONES DE INGENIERÍA

- Parámetro de amplitud de la corriente de retorno del rayo (*Lightning peak current amplitude*).
- Parámetros de la forma del impulso de la corriente de rayo (*Stroke current impulse shape*).
 - Rata de ascenso de la corriente del rayo (*Lightning current rate of rise*).
 - Las características del tiempo.



Task Force C4.4.04B "*Lightning in tropical regions*"
Working Group C4.4 "*Lightning*" of the Study Committee C4
"*Insulation Coordination*"

En virtud que la mayoría de las mediciones de los parámetros de las descargas atmosféricas se han realizado en zonas donde este fenómeno no es de gran severidad, se ha propuesto una hipótesis de trabajo de la CIGRE para determinar éstos en zonas de convergencia (Zona del Mar Caribe, África Central y Zona Insular de Australia), con el fin de mejorar la confiabilidad de los resultados en los estudios de protección contra este fenómeno natural.

Internacional Conference of Large Electrical Networks

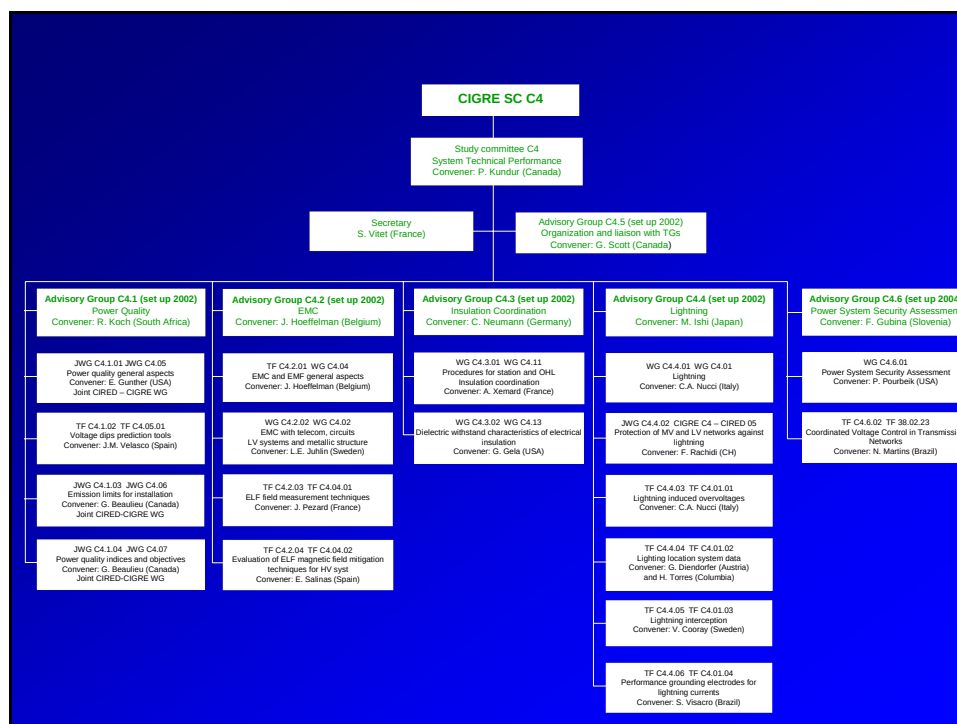


Consejo creado en 1921 para dar respaldo al proceso de normalización que realiza la IEC (*Internacional Electrotechnical Commission*) para los productos relacionados con las instalaciones eléctricas de alta tensión



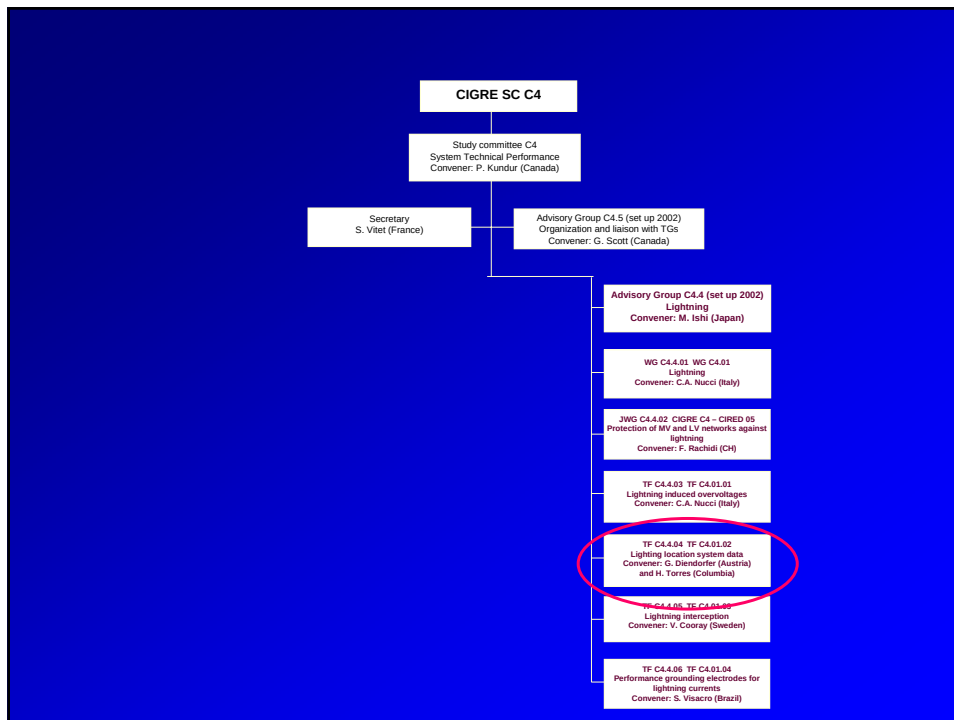
Internacional Conference of Large Electrical Networks

- **Study Committee (SC).**  Representante de 40 países
 - **Working Group (WC).**
 - **Task Force (TF).**
- Seleccionados por los méritos académicos



WORKING GROUP C4.4 *Lightning*

Análisis de las características de la descarga atmosférica, su interacción con los equipos y sistemas eléctricos de potencia y su normalización. Incluyendo los equipos y sistemas eléctricos de baja y media tensión.



TASK FORCE C4.4.04

Lightning Location Systems Data for Engineering Applications

Caracterización de los sistemas de localización de las descargas eléctricas atmosféricas (*Precisión de la localización, eficiencia de la detección y confiabilidad de los registros de la corriente*).

Debido a las diferencias estadísticas que pueden ser derivadas de la zona geográfica, se encuentra dividido en dos grupos:

- Para zonas templadas (Grupo A).
- Para zonas tropicales (Grupo B).

TASK FORCE C4.4.04B
Lightning in Tropical Regions

Actualización de los parámetros de las descargas atmosféricas en aplicaciones de ingeniería para las regiones tropicales.

TASK FORCE C4.4.04B
Lightning in Tropical Regions

- Dr. Horacio Torres (Colombia), ***Convener.***
 - Silverio Visacro-Filho (Brasil).
 - Blas Hermoso (España).
 - Ken Cummins (USA).
 - Earle Williams (USA), *Correspondent Member.*
 - Carmen Vásquez (Venezuela), *Correspondent Member.*
 - Carolina Blanco (Venezuela), *Correspondent Member.*
 - Susana Suarez (Cuba), *Correspondent Member.*
 - Ileana Mora (Costa Rica), *Correspondent Member.*

IEC 62305

"NOTE- If the map of Ng is not available, it may be estimated in several ways:

The GFD for temperate regions may be estimated from the keraunic level using equation:

$$Ng = 0.04 \cdot Td^{1.25} \text{ (IEEE)}$$

$$Ng = 0.1Td \text{ (IEC)}$$

In the case of tropical regions, the GFD may be estimated from the keraunic level using the results found in mountainous regions of Mexico, Brazil and Colombia as follows:

$$Ng = 0.024 \times Td^{1.12} \text{ México}$$

$$Ng = 0.0030 \cdot Td^{1.12} \text{ Brazil}$$

$$Ng = 0.0017 \cdot Td^{1.56} \text{ Colombia}$$

Where

Td is the number of thunderstorm days per year (the keraunic level)"

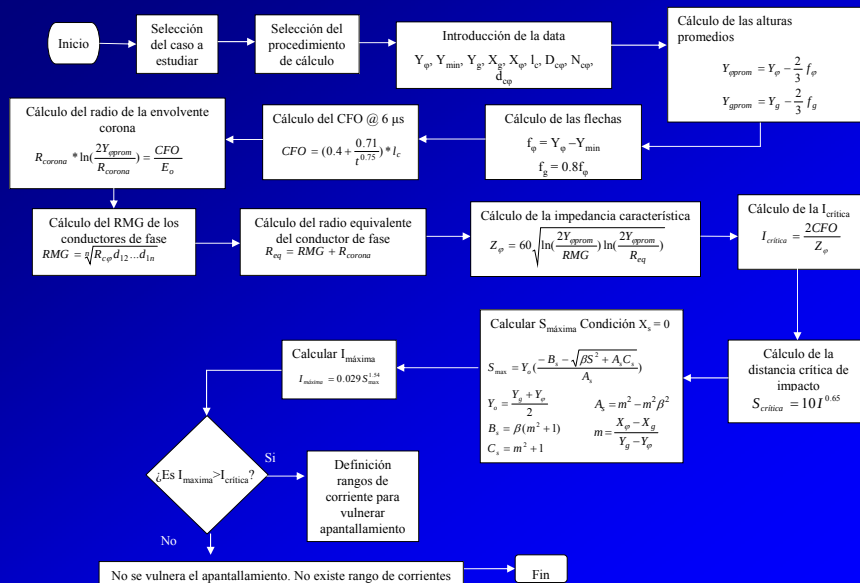
... por razones de seguridad, confiabilidad y economía, es recomendable que la magnitud de los parámetros del Rayo estimados regionalmente en Zonas Templadas (Normas Internacionales) no sean directamente aplicados a Zonas Tropicales, sino los que se vienen encontrando por investigaciones locales...

Medellin 1999, Horacio Torres-Sanchez

- ¿POR QUE TENEMOS PROBLEMAS A PANTALLAMIENTO?

- ¿POR QUE TENEMOS DAÑOS EN EQUIPOS ELECTRÓNICOS?

Falla de Apantallamiento



MODELACIÓN DE LA LÍNEA



**OBTENCIÓN DE LA MÍNIMA
CORRIENTE (I_0) QUE PRODUCE
SALIDA DE LA LÍNEA**

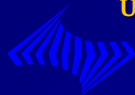
ÍNDICE DE FALLA

- **P (I_0)**
- **Número de descargas a tierra dentro de la cuadrícula de 3 km X 3 km**

$$P(I_0) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I_0}{I_{50\%}} \right)^b}$$

Donde:

- **$P(I_0)$:** La probabilidad de que la corriente de descarga sea mayor o igual a I_0 .
- **I_0 :** Magnitud de la corriente del rayo en kA.
- **$I_{50\%}$:** Valor de la mediana de distribución.
- **b :** Constante del modelo determinado por condiciones propias de la región.

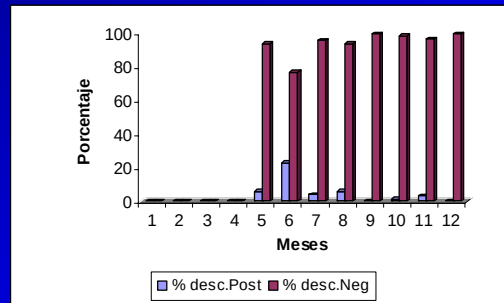


UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITECNICA
"ANTONIO JOSE DE SUCRE"
VICE - RECTORADO BARQUISIMETO
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

**DETERMINACIÓN DE LOS PARAMETROS
DE LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS QUE
INCIDEN EN EL DISEÑO DE UNA LÍNEA DE
TRANSMISIÓN ENERGÍA ELÉCTRICA**

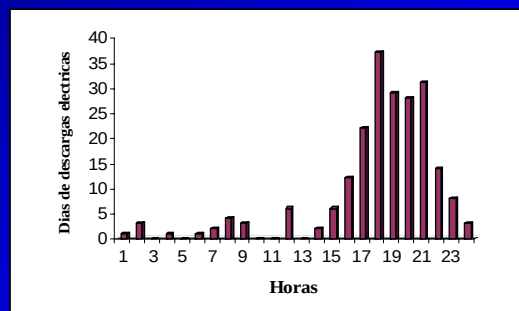
✂ Análisis Estadístico de las Descargas Atmosféricas

✓ Comportamiento mensual de la polaridad



✂ Análisis Estadístico de las Descargas Atmosféricas

✓ Actividades Registradas por hora para el año 2003.



DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES PARA LOS DATOS MEDIDOS POR EL SDLDEA

✂ Función de Distribución Acumulada.

$$P(I_0) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I_0}{I_M} \right)^b}$$

FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULADA

✂ Anderson/Eriksson

$$P(I_0) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I_0}{31} \right)^{2.6}}$$

✂ Popolansky

$$P(I_0) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I_0}{25} \right)^2}$$

FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN ACUMULADA

✘ Método estadístico

$$P(I \geq I_0) = P(I_0) * \Delta I_0 + P(I_0 + \Delta I_0) * \Delta I_0 + \dots + P(171 \text{ kA}) * \Delta I_0$$

✘ Función de Distribución Acumulada para la Corriente de Retorno

✓ Método estadístico

I_0 [kA]	$P(I_0)$
2	99.690722
22	51.443299
25	43.402062
31	31.443299
59	7.319588
171	0.103092

✘ Función de Distribución Acumulada para la Corriente de Retorno

I_o [kA]	P(I_o) [Anderson/Eriksson]	P(I_o) [Popolansky]
2	0.999197	0.985804
22	0.709232	0.586304
25	0.636288	0.5
31	0.5	0.409836
59	0.157994	0.156681
171	0.011659	0.020927

✘ Función de Distribución Acumulada para la Corriente de Retorno

- ✓ Valores de Distribución Acumulada de las Mediciones de Magnitud de la Corriente de Retorno

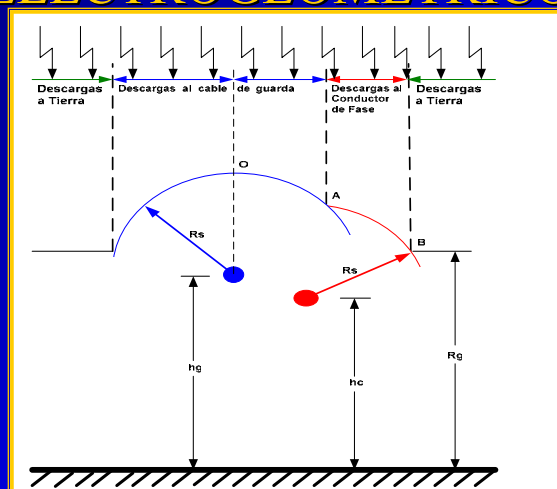
Investigadores	Cantidad de Mediciones	95% [kA]	50% [kA]	20% [kA]
Anderson/Eriksson	967	9-10	31	52-53
Popolansky	967	5-6	25	50
Venezuela/UNEXPO	967	8-9	22-23	38

DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES PARA LOS DATOS MEDIDOS POR EL SDLDEA

✓ Función de Distribución Acumulada.

Investigadores	Ecuación	Constantes
Anderson/Eriksson	$P(I_0) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I_0}{31kA}\right)^{2.6}}$	2.6
Popolansky	$P(I_0) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I_0}{25kA}\right)^2}$	2
UNEXPO	$P(I_0) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I_0}{22kA}\right)^{2.56}}$	2.56

APLICACIÓN DEL MODELO ELECTROGEOMÉTRICO



APLICACIÓN DEL MODELO ELECTROGEOMÉTRICO

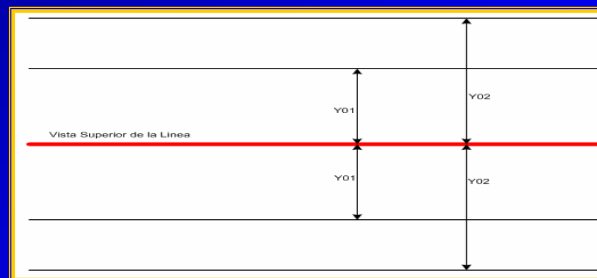
✓ Radio de atracción

$$R_S = A * I_S^b$$

MODELO ELECTROGEOMÉTRICO

✕ Área de incidencia a través de vista superior

$$y_{01}^2 = R_S^2 - (R_S - h_L)$$



MODELO ELECTROGEOMÉTRICO

✂ Por medio de Ecuaciones

Radio de Atracción R_s	Referencia (Autor)
$9.4 * I_s^{0.65}$	Love
$10 * I_s^{0.65}$	Whitehead
$8 * I_s^{0.65}$	IEEE
$3.3 * I_s^{0.78}$	Suzuky
$14.2 * I_s^{0.42}$	Wagner

✂ MODELO ELECTROGEOMÉTRICO

I_o [kA]	R_s [metros] Suzuky	R_s [metros] Love	R_s [metros] Whitehead
2	5.667	15.692	14.750
22	36.779	74.574	70.098
25	40.636	81.033	76.171
31	48.059	93.193	87.602
59	79.392	141.597	133.101
171	182.0752	282.7792	265.8125

DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES PARA LOS DATOS MEDIDOS POR EL SDLDEA

✕ Radio de Atracción

Investigadores	Ecuación	Constantes	
		"A"	"b"
Love	$R_S = 10 * I_S^{0.65}$	10	0.65
Whitehead	$R_S = 9.4 * I_S^{0.65}$	9.4	0.65
Wagner	$R_S = 14.2 * I_S^{0.42}$	14.2	0.42
UNEXPO	$R_S = 9.6 * I_S^{0.64}$	9.6	0.64

✕ DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA

✓ Por medio de Ecuaciones

Ecuaciones N_g	Lugar	$T_d = 80$ N_g (descargas/km ² - año)
$0.04 * T_d^{1.25}$	Sudáfrica	9.57
$0.15 * T_d$	Estados Unidos	12
$14.71 * T_d^{1.17}$	Europa	22170.37
$0.023 * T_d^{1.3}$	CIGRE	0.8
$0.03 * T_d^{1.12}$	Brasil	4.06

✕ DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA

✓ A través de mediciones directas



DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA

✕ A través de mediciones directas

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Número de Descargas}}{\text{Área}}$$



DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA

✂ Por medio de Ecuaciones

Ecuaciones N_g	Lugar	Referencia (Autor)	Año
$0.04 * T_d^{1.25}$	Sudáfrica	Anderson/Eriksson	1987
$0.15 * T_d$	Estados Unidos	Brown/Whitehead	1969
$14.71 * T_d^{1.17}$	Europa	Popolasnsky	1972
$0.023 * T_d^{1.3}$		CIGRE	1989
$0.03 * T_d^{1.12}$	Brasil	Dinitz/M.G	1989

DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES PARA LOS DATOS MEDIDOS POR EL SDLDEA

✂ Densidad de Descargas a Tierra

Investigadores	Ecuación	Constantes	
		"D"	"c"
Popolansky	$N_g = 14.71 * T_d^{1.67}$	14.71	1.67
Brooks	$N_g = 0.19 * T_d$	0.19	1
UNEXPO	$N_g = 12.21 * T_d^{0.48}$	12.21	0.48

DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN DIRECTA EN VENEZUELA

✕ SENSORES



Modelos de los Sensores

Sensor Modelo Impact ES

Estructura:

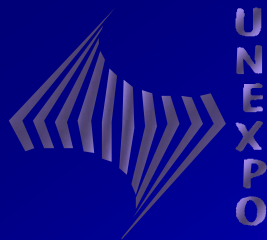
Tres (3) Antenas.

- ➔ Detectan campo eléctrico.
- ➔ Detectan campo magnético.
- ➔ Recolecta información de sistema GPS.

Dos (2) Módulos Electrónicos.

- ➔ Analiza información.
- ➔ Transmisión de la información.





UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
POLITÉCNICA
"ANTONIO JOSÉ DE SUCRE"
VICERRECTORADO BARQUISIMETO

PLAN DE ACTIVIDADES



CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE PROCESOS
LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN
Ing. María Carolina Blanco, Dr. C
Ing. Carmen Luisa Vásquez, Dr. C

PLAN DE ACTIVIDADES

1. Calibración de los sensores y validación de los datos.
2. Diseño de Mapas de Riesgo Eléctrico.
3. Cálculo del Nivel Ceraúnico (para aplicaciones meteorológicas)
4. Mejoramiento de los análisis de fallas en líneas de transmisión y distribución.
5. Propuestas de mejoras en las protecciones (internas y externas) de:
 - Empresas Eléctricas
 - Empresa Petroleras
 - Empresa de telecomunicaciones
 - Edificaciones e inmuebles
6. Revisión de Normas Técnicas:
 - Nacionales
 - Internacionales

TAREA 1

1. Calibración de los sensores y validación de los datos:

- Construcción de Antenas de placas
- Construcción de molinos de campo eléctrico
- Comparar datos en las zonas fronterizas (Colombia/Venezuela)
- Estaciones experimentales para medición directa de rayos.

IMPORTANCIA

- Los sistemas de localización presentan errores sistemáticos y aleatorios que distorsionan los resultados obtenidos.
- La determinación de la DDT y su validación está estrechamente relacionada con el método de calibración de la Red.
- La validación de los datos obtenidos es compleja, ya que los métodos de calibración de redes en todo el mundo no son unificados y no están normalizados.

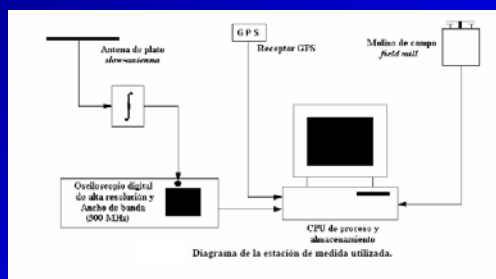
METODOLOGÍAS DE CALIBRACIÓN A NIVEL MUNDIAL

	AUSTRIA	COLOMBIA	DENMARK	FINLAND	ISRAEL
LLS	LLP - Impact (1992) 8 Sensors	LPATS-Impact (1995) 6 sensors LLP (1995) 4 sensors LLP (1990) 1 sensor TSS420	LLP (1990) - 4 sensors	LLP (1984) 4 Sensors Based on DF 80-02	LPATS (1994) - 5 sensors CGR3 (1987) - 1 sensor
Covered Area by each sensor	120-140 km	LPATS : 350 km LLP : about 185 km LLPTSS420 : 185 km	350 km	400 km	LPATS : 200 km CGR3 830 km ²
Topographical description	Mountainous at western Flat areas at eastern	Approx. 90 % mountains	Lowland coastal conductivity : 50-500 ohms	Generally low and flat	CGR3 : coastal area LPATS : flat and low Flat : 84% Under sea level : 16%
Location Accuracy	Site error (no calibrated) mean 500 - 1000 m	No calibrated	2 - 4 km calibrated according to Sorensen	5 - 10 km. Internal comparison of 4 DF data	LPATS - no calibrated. 95% according to manufacturer
Detection Efficiency	90% by DE Model. [25]	LPATS : 50% max. LLP : 60% max. According to [11]	80 - 90% within 220 km, decreasing 50% about 350 km	Max. 77%. Internal comparison of 4 DF data	CGR3 - in lab according to Mackerras Test (50%)
LPC Accuracy	Estimated : $\pm 20\%$	Very low value respect to Modified Transmission Line Model MTL. LPATS : 5 times LLP : 1,5 times calibrated according to [19]	Mean absolute error at least 20%	Not known	Not known

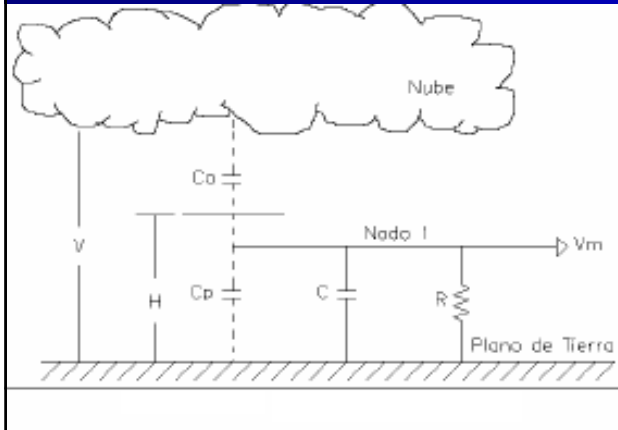
ANTENAS DE PLACAS



Antena de Placas Paralelas.



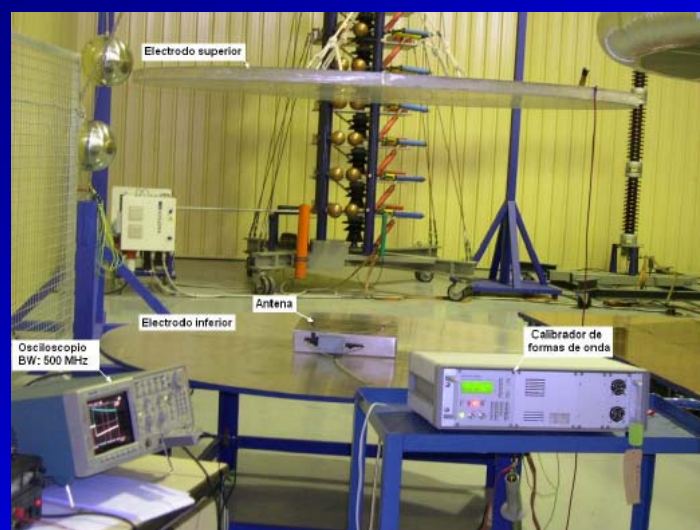
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO



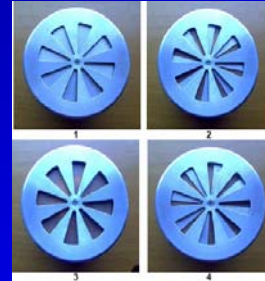
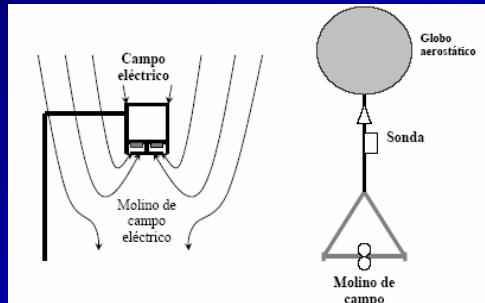
$$V_m = E_v H \frac{C_p}{C + C_p} = K \cdot E_v$$

La antena de plato permite distinguir la primera descarga de retorno y las subsiguientes descargas, además de otros procesos y la duración total del rayo.

CALIBRACIÓN



MOLINOS DE CAMPO ELÉCTRICO



- Predice el inicio de una tormenta y dar señales de alarma para la protección de personas, o dar señales de disparo para el encendido de sistemas de medición y registro.
- Monitorea el campo eléctrico ambiental suministrando información sobre el desplazamiento de las tormentas.

CALIBRACIÓN



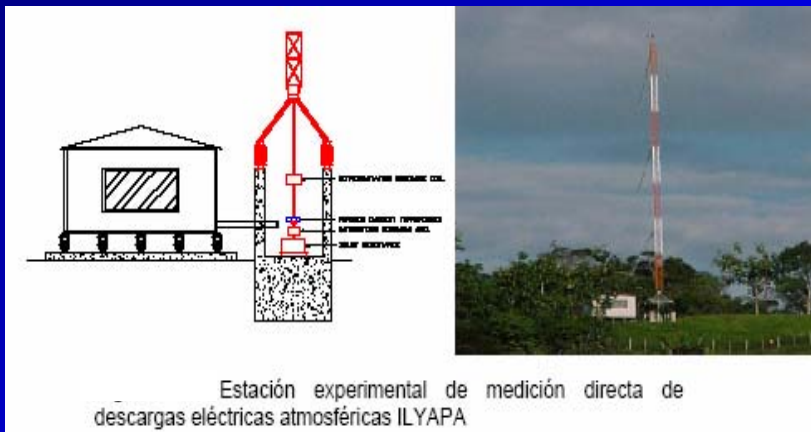
COMPARACIÓN DE DATOS EN ZONAS FRONTERIZAS



Ubicación de la Red de Sensores



ESTACIONES EXPERIMENTALES

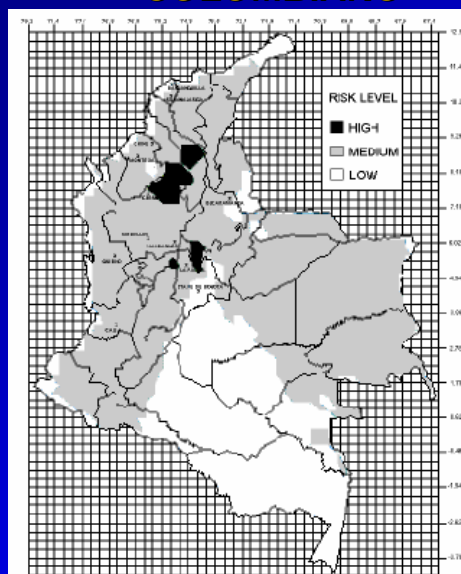


TAREA 2

2. Diseño de Mapas de Riesgo Eléctrico:

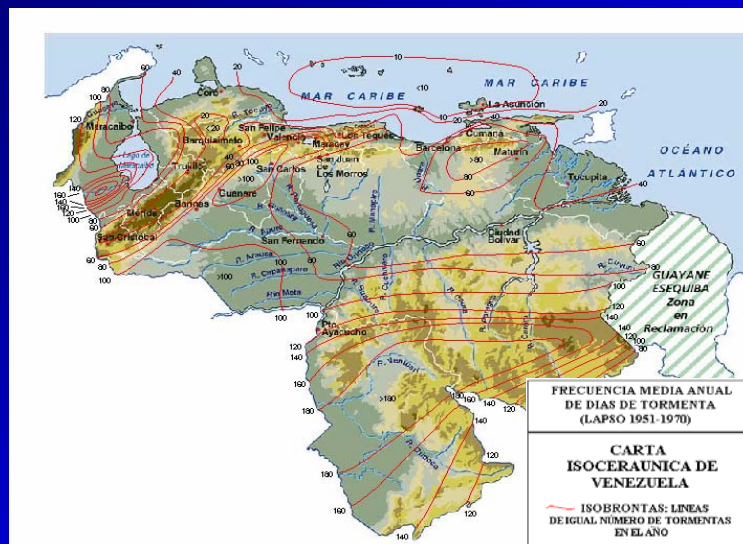
- Equipo multidisciplinario.
- Evaluación de estructuras bajo riesgo.
- Geomorfología de las zonas.
- Aplicación de la computación flexible.

MAPA DE RIESGO ELÉCTRICO COLOMBIANO



TAREA 3

3. Cálculo del Nivel Ceraúnico (para aplicaciones meteorológicas)



ECUACIONES DE DENSIDAD DE RAYOS A TIERRA EN FUNCIÓN DEL NIVEL CERÁUNEO (Td)

ECUACIÓN PROPUESTA	AUTOR	PAIS
$0.04 \cdot (Td)^{1.25}$	Anderson/ Eriksson	CIGRE
$0.053 \cdot (Td)^{1.17}$	Eriksson/ Potgieter	Surafrica
$0.026 \cdot (Td)^{1.9}$	Stringfellow	U.K.
$0.004 \cdot (Td)^2$	Muller/Hillebrand	Suiza
$0.15 \cdot (Td)$	Brown/Whitehead/Golde	USA
$0.023 \cdot (Td)^{1.3}$	CIGRE	
$0.036 \cdot (Td)^{1.3}$	Kolokolov/Paulova	Rusia
$0.01 \cdot (Td)$	Aiya	India
$0.01 \cdot (Td)$		New Guinea
$0.024 \cdot (Td)^{1.12}$	De La Rosa	México
$[0.1 + 0.35 \cdot \text{Sen}(\lambda)] \cdot [0.4 \pm 0.2] \cdot (Td)$	Grupo PAAS	Colombia

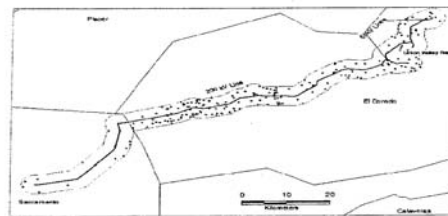
CORRELACIÓN ENTRE DDT Y NC

ECUACION	DIFERENCIA PROMEDIO MONTAÑA	ERROR PROMEDIO MONTAÑA	DIFERENCIA PROMEDIO COSTA	ERROR PROMEDIO COSTA
COLOMBIA	0.78	41%	0.56	41%
CIGRE/IEEE/IEC	10.61	1568%	7.14	651%
ERIKSSON	7.26	1065%	4.16	434%

TAREA 4

4. Mejoramiento de los análisis de fallas en líneas de transmisión y distribución.

DATOS QUE SUMINISTRA UNA RED DE SENSORES



Map of located C-G strokes within 3 km of a 230 kV transmission line in California, after Cummins et al (1998a)

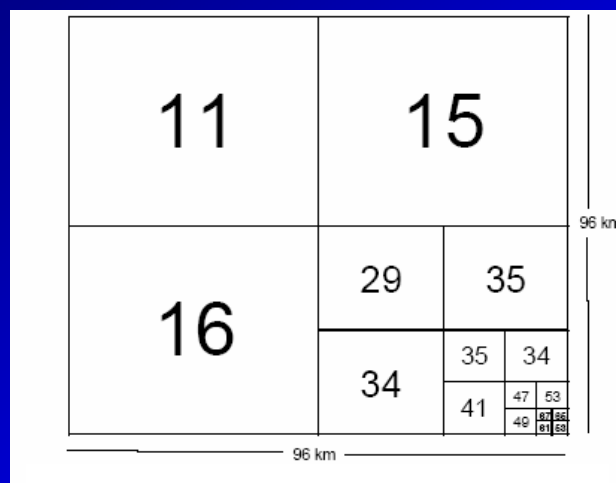
AMPLITUD DE LA CORRIENTE DEL RAYO
(Probabilidad de superar la corriente inyectada por el rayo sea mayor igual lo)

- Distribución de la AIEE
- Distribución de Popolansky
- Distribución de Anderson y Eriksson

Distribución de Anderson y Eriksson

$$P(I_0) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I_0}{31}\right)^{2.6}}$$

ANÁLISIS DE DDT EN ÁREAS DIFERENTES



MEDIANAS DEL VALOR PICO DE LA CORRIENTE DE RETORNO DEL RAYO

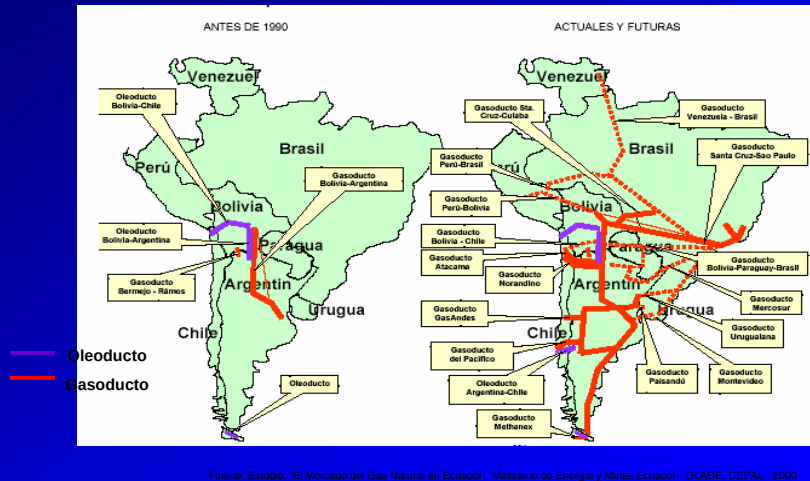
País	Mediana (kA)
Estados	23
Suiza	30
Suecia	30
Polonia	31
Malasia	36
Brasil⁽¹⁾	43
Rodesia	42
Colombia⁽²⁾	43

PLANES ESTRATÉGICOS DE LA NACIÓN

1. Gasoducto entre Ballenas (Guajira) y Maracaibo (Venezuela) con un costo de 170 millones de dólares y 177 kilómetros de extensión.
2. Poliducto de Maracaibo al Pacífico colombiano (de una extensión de 1.300 km aproximadamente) para exportar desde allí hasta Alaska, China y otros mercados.
3. El proyecto en Panamá revertiría la dirección del flujo de crudo del poliducto, del Petroterminales que transporta crudo desde Puerto Armuelles, en el Pacífico, hasta Chiriqui Grande, en el Caribe.
4. Proyecto de interconexión eléctrica con Centro América a través de Colombia (Plan Puebla – Panamá)

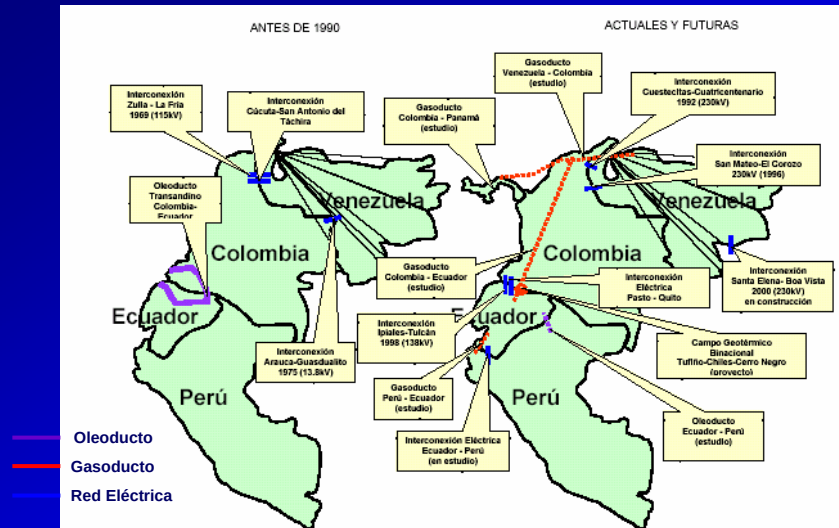
1. SECTOR GAS EN LATINOAMÉRICA

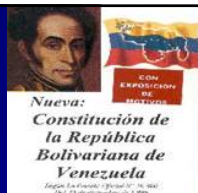
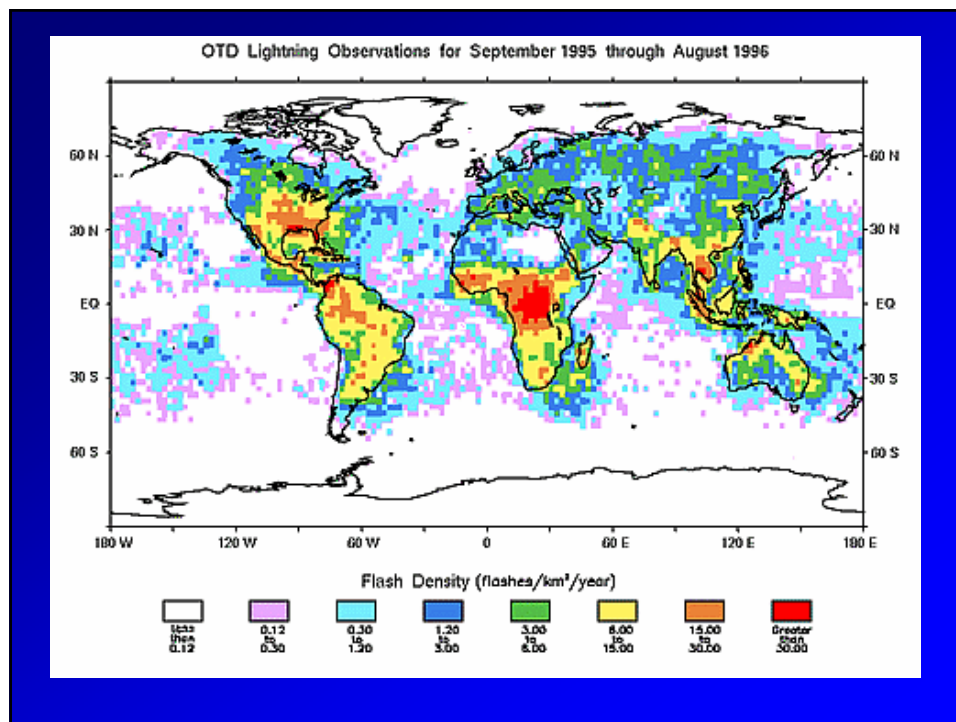
Interconexión Cono Sur América



2. SECTOR GAS EN LATINOAMÉRICA

Interconexión Comunidad Andina





ARTÍCULO 110 DE LA CRBV (1999)

“El Estado reconocerá el interés público de la ciencia, la tecnología, el conocimiento, la innovación y sus aplicaciones y los servicios de información necesarios por ser instrumentos fundamentales para el desarrollo económico, social y político del país, así como para la seguridad y soberanía nacional. Para el fomento y desarrollo de esas actividades, el Estado destinará recursos suficientes...”