
MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SANTA FÉ DE BOGOTÁ



Agosto de 1997

CARTA DEL DIRECTOR

Colombia está localizada en un ambiente sismo-tectónico de gran actividad caracterizado por la frecuente ocurrencia de fenómenos naturales como deslizamientos, sismos y erupciones volcánicas. Debido a la vulnerabilidad a la cual está expuesta la mayoría de nuestra población, todos estos fenómenos se constituyen en amenazas permanentes. Dentro de estos eventos, el que produce mayores pérdidas de vidas humanas y daños a bienes son los terremotos.

Santafé de Bogotá sufrió en las últimas décadas un crecimiento incontrolado de asentamientos humanos, que sumado a la falta de planificación urbana trajo como consecuencia la existencia actual de una gran diversidad de construcciones, de las cuales muchas no cumplen con las normas establecidas para el país en el Código de Construcciones Sismo-Resistentes de 1984, lo anterior conlleva a un incremento no cuantificado de su vulnerabilidad ante estas amenazas de origen geológico.

La Unidad para la Prevención de Emergencias del Distrito (UPES), la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (DNPAD) e INGEOMINAS establecieron un convenio entre los años 1994 y 1997, para lograr culminar con éxito el proyecto **Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá**, contando con la participación de la Universidad de los Andes e INGEOMINAS como entidades ejecutoras. En este proyecto se definen cinco zonas de comportamiento homogéneo en la ciudad, caracterizadas por parámetros particulares útiles para el diseño y construcción de edificaciones y líneas vitales, los cuales serán incorporados a la Norma de Construcciones Sismoresistentes de la ciudad. Así mismo, se establecieron tres escenarios de daño que pueden presentarse en caso de que ocurran sismos de determinadas características.

Dentro de los grandes productos alcanzados se resaltan:

- Mapa geológico de la ciudad a escala 1:50.000.
- Mapas tectónicos y neotectónicos de la zona de influencia sísmológica de la ciudad.
- Caracterización estática y dinámica de los suelos de la ciudad.
- Mapa de zonificación geotécnica a escala 1:50.000.
- Mapa de microzonificación sísmica a escala 1:50.000.
- Mapas de vulnerabilidad sísmica de edificaciones y líneas vitales de acuerdo con tres escenarios hipotéticos probables.

Tengo el agrado de presentar la publicación de dicho estudio el cual servirá para que la ciudad lo tome como un insumo importante de tal forma que se establezcan las orientaciones para la planificación urbana y la elaboración del plan de contingencia ante la probable ocurrencia de un sismo, en donde debe haber una participación activa de todas las entidades del Distrito, así como de la comunidad en general.

Cordialmente,



ADOLFO ALARCÓN GUZMÁN
Director General
INGEOMINAS

INDICE

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SISMICA REGIONAL

	Pág.
1.1 ACTIVIDAD NEOTECTÓNICA DE LAS PRINCIPALES FUENTES SISMOGÉNICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO	1
1.1.1 Emplazamiento tectónico regional	1
1.1.2 Actividad neotectónica	2
1.1.3 Características morfotectónicas	4
1.1.4 Análisis microtectónico	7
1.1.5 Síntesis de resultados	8
1.2 CATÁLOGO DE SISMOS	10
1.2.1 Sismicidad histórica de Santafé de Bogotá y alrededores	11
1.2.2 Actualización y análisis del Catálogo de sismos de Colombia	15
1.3 AMENAZA SÍSMICA REGIONAL	16
1.3.1 Aspectos sismotectónicos de la amenaza sísmica de la ciudad de Santafé de Bogotá	18
1.3.2 Aceleración e intensidad local máximas probables	22
1.3.3 Componentes locales de la amenaza sísmica	27
1.3.4 Acelerogramas de diseño	28
1.3.5 Aproximación al establecimiento de los acelerogramas de diseño	29
1.3.6 Espectros de respuesta de acelerogramas de diseño	31
1.4 REFERENCIAS.	32

CAPITULO 2 CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD

2.1 GEOLOGÍA LOCAL	35
2.1.1 Litoestratigrafía	35
2.1.2 Geología estructural	38
2.2 ESTUDIOS GEOFÍSICOS	39
2.2.1 Estudios de resistividad eléctrica	39
2.2.2 Estudios gravimétricos	40
2.2.3 Estudios sísmicos	42
2.2.4 Modelo geológico-geofísico del subsuelo de la ciudad	43
2.3 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA	45
2.3.1 Localización de los sondeos	45
2.3.2 Propiedades básicas del subsuelo de Santafé de Bogotá	47
2.3.3 Compresibilidad del subsuelo de Santafé de Bogotá	50
2.3.4 Resistencia al corte	53
2.3.5 Comportamiento del subsuelo de Santafé de Bogotá bajo cargas cíclicas	54
2.3.6 Zonificación geotécnica de síntesis	58
2.4 REFERENCIAS	61

CAPITULO 3 MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ

3.1 DETERMINACIÓN DE ZONAS CON RESPUESTA DINÁMICA	65
3.1.1 Técnicas utilizadas en el análisis de señales sísmicas	66
3.1.2 Mediciones realizadas y zonas de respuesta dinámica similar	66
3.1.3 Mediciones e interpretación de microtrepidaciones en Bogotá	66
3.1.4 Observaciones finales	68
3.2 INFORMACIÓN SÍSMICA Y MODELO UNIDIMENSIONAL DE CALIBRACION	68
3.2.1 Datos y características de eventos sísmicos	68
3.2.2 Caracterización geotécnica y propiedades dinámicas	70
3.2.3 Respuesta frecuencial en la estación INGEOMINAS	71

3.3	RESPUESTA MEDIANTE MODELOS UNIDIMENSIONALES	73
3.3.1	Perfiles de análisis	73
3.3.2	Caracterización geotécnica y propiedades dinámicas	73
3.3.3	Sismos de diseño	73
3.3.4	Análisis de respuesta dinámica	73
3.4	RESPUESTA SÍSMICA MEDIANTE MODELOS BIDIMENSIONALES	76
3.4.1	Forma de la cuenca y secciones para el análisis	77
3.4.2	Análisis de respuesta dinámica y resultados	77
3.4.4	Amplificaciones locales en zonas de los cerros	79
3.5	MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y RECOMENDACIONES	81
3.5.1	Zona 1 - Cerros	81
3.5.2	Zona 2 - Piedemonte	81
3.5.3	Zona 3 - Lacustre A	81
3.5.4	Zona 4 - Lacustre B	81
3.5.5	Zona 5 - Terrazas y Conos	81
3.6	REFERENCIAS	87

CAPITULO 4 VULNERABILIDAD SÍSMICA URBANA DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ

4.1	METODOLOGÍA GENERAL	91
4.2	VULNERABILIDAD DE LAS EDIFICACIONES	92
4.2.1	Funciones de vulnerabilidad	94
4.2.2	Estimación del riesgo	95
4.2.3	Análisis de resultados	96
4.3	VULNERABILIDAD DE LÍNEAS VITALES	106
4.3.1	Vulnerabilidad de redes	107
4.3.2	Vulnerabilidad de edificaciones de líneas vitales	109
4.3.3	Estimación del riesgo	109
4.3.4	Análisis de resultados	118
4.4	ORIENTACIONES PARA LA PLANIFICACIÓN URBANA Y LA ELABORACIÓN DEL PLAN DE CONTINGENCIA	119
4.4.1	Actividades pre-desastre	120
4.4.2	Actividades pos-desastre	123
4.5	REFERENCIAS	123

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

INDICE DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN

- 1.1 LOCALIZACIÓN TECTÓNICA DE COLOMBIA
- 1.2 DIAGRAMA DE PROCESO GENERAL PARA LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ

CAPITULO 1

- 1.1 TRAZAS IDEALIZADAS DE LOS SISTEMAS DE FALLAMIENTO
- 1.2 MAPA DE ACTIVIDAD DE FALLAS DE LAS REGIONES NOROCCIDENTAL Y SURORIENTAL
- 1.3 MAPA DE ACTIVIDAD DE FALLAS DE LA REGIÓN CENTRAL
- 1.4 BLOQUE DIAGRAMA DE LA REGIÓN NOROCCIDENTAL
- 1.5 BLOQUE DIAGRAMA DE LA REGIÓN SURORIENTAL
- 1.6 RASGOS NEOTECTÓNICOS SOBRE LA FALLA DE GUAYURIBA
- 1.7 DEPOSITO CUATERNARIO DEFORMADO TECTÓNICAMENTE
- 1.8 MAPA PRELIMINAR DE ZONIFICACIÓN SISMOTECTÓNICA
- 1.9 MAPA GENERAL DE INTENSIDADES DE LA SABANA DE BOGOTÁ Y ALREDEDORES (PERÍODO 1500-1994)
- 1.10 MAPA DE EPICENTROS DE SISMOS HISTÓRICOS EN LA SABANA DE BOGOTÁ 1500 - 1994
- 1.11 EVENTOS SELECCIONADOS PARA LA CONFORMACIÓN DEL CATÁLOGO
- 1.12 NÚMERO ESPERADO DE SISMOS POR AÑO PARA LOS PERÍODOS DE REPORTE COMPLETO
- 1.13 FOCOS DE LOS SISMOS PARA EL TERRITORIO COLOMBIANO Y TRAZAS IDEALIZADAS DE LAS FALLAS
- 1.14 VARIACIÓN DE LA PROFUNDIDAD FOCAL EN LA ZONA DE BENIOFF (SECCIÓN A)
- 1.15 VARIACIÓN DE LA PROFUNDIDAD FOCAL EN LA ZONA DE BENIOFF (SECCIÓN B)
- 1.16 SISMOS ASIGNADOS PARA BOGOTÁ $R=200\text{KM}$
- 1.17 SISMOS NO ASIGNADOS PARA BOGOTÁ $R=200\text{KM}$
- 1.18 RECURRENCIA PARA LA REGIÓN ESTUDIADA EN LOS SISMOS NO ASIGNADOS
- 1.19 GRÁFICAS DE ATENUACIÓN DE LA ACELERACIÓN DADAS POR ESTEVA, DONOVAN Y McGUIRE
- 1.20 ACELERACIÓN LOCAL HORIZONTAL MÁXIMA PROBABLE OBTENIDA CON EL MODELO DE FUENTES DEL CSR
- 1.21 ACELERACIÓN LOCAL HORIZONTAL MÁXIMA PROBABLE OBTENIDA CON EL MODELO NEOTECTÓNICO DE ESTE ESTUDIO
- 1.22 REGISTROS DE LOS TRES SISMOS DE DISEÑO ESTABLECIDOS
- 1.23 ESPECTROS DE RESPUESTA CORRESPONDIENTES A LOS ACELEROGRAMAS DE DISEÑO

CAPITULO 2

- 2.1 MAPA GEOLÓGICO DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ
- 2.2 MAPA DE ANOMALÍA RESIDUAL CON EFECTOS DE SOMBRA
- 2.3 VALORES DE V_p , V_s Y PROFUNDIDADES EN INGEOMINAS
- 2.4 MODELO GEOLÓGICO-GEOFÍSICO CALLE 170
- 2.5 MODELO GEOLÓGICO-GEOFÍSICO INGEOMINAS - FUNZA
- 2.6 MAPA DEL ESPESOR DE SEDIMENTOS
- 2.7 LOCALIZACIÓN DE LOS SONDEOS
- 2.8 PERFIL ESTRATÉGICO Y ENSAYOS DE LABORATORIO - SONDEO REALIZADO EN INGEOMINAS
- 2.9 GRÁFICO DEL LÍMITE LÍQUIDO EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD - ZONA DE ARCILLAS BLANDAS
- 2.10 GRÁFICO DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE PARA TODOS LOS SUELOS ESTUDIADOS
- 2.11 GRÁFICO DE PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD - ZONA DE ARCILLAS BLANDAS
- 2.12 GRÁFICO DE ÍNDICE DE COMPRESIÓN EN FUNCIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO
- 2.13 GRÁFICO DE HISTOGRAMA DEL ESFUERZO EFECTIVO VERTICAL CORRESPONDIENTE AL LÍMITE LÍQUIDO

- 2.14 GRÁFICO DE HISTOGRAMA DEL ESFUERZO EFECTIVO VERTICAL CORRESPONDIENTE AL LÍMITE PLÁSTICO
- 2.15 GRÁFICO DE RESULTADO ENSAYO TRIAXIAL CU (MUESTRA N14-18, PROFUNDIDAD 41.5)
- 2.16 GRÁFICO DE LOS CICLOS DE HISTÉRESIS ENSAYO TRIAXIAL CÍCLICO
- 2.17 GRÁFICO DE RESULTADO TÍPICO DE ENSAYO TRIAXIAL CÍCLICO CURVA DE MÓDULO CORTANTE EN FUNCIÓN DE LA DEFORMACIÓN
- 2.18 GRÁFICO DE RESULTADO TÍPICO DE ENSAYO TRIAXIAL CÍCLICO CURVA DE AMORTIGUAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA DEFORMACIÓN
- 2.19 VELOCIDAD DE ONDA CORTANTE PARA DIFERENTES PRESIONES DE CONFINAMIENTO
- 2.20 GRÁFICAS DEL MÓDULO DE CORTANTE MÁXIMO
- 2.21 GRÁFICO DE G_{max} EN FUNCIÓN DEL ESFUERZO DE CONFINAMIENTO σ_3
- 2.22 GRÁFICO DE G_{max} EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS e
- 2.23 GRÁFICO DE CURVAS G/G_{max} EN FUNCIÓN DE LA DEFORMACIÓN CORTANTE PARA DIFERENTES I_p
- 2.24 GRÁFICO DE CALIBRACIÓN DEL MODELO CONTRA ENSAYO DE LABORATORIO
- 2.25 RESULTADOS TÍPICOS DE UN ENSAYO PRESIOMÉTRICO CÍCLICO
- 2.26 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DOWN HOLE
- 2.27 MAPA DE ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ

CAPITULO 3

- 3.1 MAPA DE ISOSISTAS DE BOGOTÁ PARA EL SISMO DE MURINDÓ
- 3.2 MAPA DE ISOSISTAS DE BOGOTÁ PARA EL SISMO DE TAURAMENA
- 3.3 PLANO BÁSICO DE LA CIUDAD DONDE SE INDICAN LOS PUNTOS SELECCIONADOS PARA EL REGISTRO DE MICROTREPIDACIONES
- 3.4 PERÍODOS DE VIBRACIÓN DOMINANTES A PARTIR DE MICROTREPIDACIONES
- 3.5 UBICACIÓN DE LOS EPICENTROS DE LOS SISMOS UTILIZADOS EN ESTE ESTUDIO Y LAS ESTACIONES DE LA RED SIMOLÓGICA NACIONAL
- 3.6 COMPARACIÓN DE LAS COMPONENTES EW REGISTRADAS EN EL SISMO DE TAURAMENA Y SUS RESPECTIVOS ESPECTROS DE RESPUESTA
- 3.7 GRÁFICAS DE DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ Y DE AMORTIGUAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA DEFORMACIÓN POR CORTANTE
- 3.8 COMPARACIÓN DE LAS RESPUESTAS TEÓRICAS OBTENIDAS MEDIANTE EL MODELO UNIDIMENSIONAL
- 3.9 VARIACION DE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DE RESPUESTA CON LA PROFUNDIDAD PARA LOS CUATRO SISMOS DE CALIBRACIÓN
- 3.10 MAPA DE ISOPERÍODOS FUNDAMENTALES DEL DEPÓSITO
- 3.11 ESPECTROS DE RESPUESTA PARA EL SONDEO No. 49 - INGEOMINAS
- 3.12 RESULTADOS OBTENIDOS CON ESPESORES DE PROFUNDIDAD 20, 40, 60, 80M. MANTENIENDO LAS CARACTERÍSTICAS DEL SONDEO DEL INGEOMINAS
- 3.13 FORMA DE LA CUENCA UTILIZADA EN EL ANÁLISIS Y LAS ACELERACIONES MÁXIMAS DE RESPUESTA EN SUPERFICIE PARA CADA UNO DE LOS SISMOS
- 3.14 MAPAS DE ISOACELERACIONES HORIZONTALES MÁXIMAS EN LA SECCIÓN DE ANÁLISIS PARA CADA UNO DE LOS SISMOS
- 3.15 ESPECTROS DE RESPUESTA SONDEO N48 UNIAGRARIA SISMO CERCANO (0.25g)
- 3.16 CORTE No. 3 QUEBRADA BOLONIA ACELERACIONES MÁXIMAS EN SUPERFICIE PARA SISMO DE DISEÑO
- 3.17 CORTE No. 3 QUEBRADA BOLONIA MAPAS DE ISOACELERACIONES MÁXIMAS PARA SISMOS DE DISEÑO
- 3.18 CORTE No. 3 QUEBRADA BOLONIA SISMO FRONTAL (0.20g) ESPECTROS DE RESPUESTA
- 3.19 MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ
- 3.20 MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO - TALUDES NO INTERVENIDOS
- 3.21 ESPECTROS DE RESPUESTA Y DISEÑO ZONA 1-CERROS
- 3.22 ESPECTROS DE RESPUESTA Y DE DISEÑO ZONA 2- PIEDEMONTE
- 3.23 ESPECTROS DE RESPUESTA Y DE DISEÑO ZONA 3 - LACUSTRE A
- 3.24 ESPECTROS DE RESPUESTA Y DE DISEÑO ZONA 4 - LACUSTRE B
- 3.25 ESPECTROS DE RESPUESTA Y DE DISEÑO ZONA 5 - TERRAZAS Y CONOS
- 3.26 ESPECTROS DE DISEÑO PARA LAS ZONAS 1,2,3,4 Y 5
- 3.27 ECUACIONES Y PARÁMETROS DE LOS ESPECTROS DE DISEÑO PARA LAS ZONAS SÍSMICAS DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ

CAPITULO 4

- 4.1 FUNCIONES DE VULNERABILIDAD
- 4.2 PORCENTAJE DE ÁREA DESTRUÍDA POR MANZANA SISMO CERCANO FUERTE (0.20g)
- 4.3 PORCENTAJE DE ÁREA DESTRUÍDA POR MANZANA SISMO CERCANO MODERADO (0.12g)
- 4.4 PÉRDIDAS ECONÓMICAS POR MANZANA SISMO CERCANO FUERTE (0.20g)
- 4.5 PÉRDIDAS ECONÓMICAS POR MANZANA SISMO CERCANO MODERADO (0.12g)
- 4.6 NÚMERO DE HERIDOS SISMO CERCANO FUERTE (NOCHE) (0.20g)
- 4.7 NÚMERO DE MUERTOS SISMO CERCANO FUERTE (NOCHE) (0.20g)
- 4.8 NÚMERO DE HERIDOS SISMO CERCANO FUERTE (DÍA) (0.20g)
- 4.9 NÚMERO DE MUERTOS SISMO CERCANO FUERTE (DÍA) (0.20g)
- 4.10 DAÑOS ESPERADOS EN LA RED DE ACUEDUCTO DEBIDOS AL SISMO CERCANO (0.12g)
- 4.11 DAÑOS ESPERADOS EN LA RED DE ACUEDUCTO DEBIDOS AL SISMO CERCANO FUERTE (0.20g)
- 4.12 DAÑOS ESPERADOS EN LA RED DE ALTA TENSIÓN PARA EL SISMO CERCANO MODERADO (0.12g)
- 4.13 DAÑOS ESPERADOS EN LA RED DE ALTA TENSIÓN PARA EL SISMO CERCANO FUERTE (0.20g)
- 4.14 VULNERABILIDAD DE CENTRALES TELEFÓNICAS A LA AMENAZA SISMO CERCANO (0.12g)
- 4.15 VULNERABILIDAD DE CENTRALES TELEFONICAS A LA AMENAZA SISMO CERCANO FUERTE (0.20g)
- 4.16 DAÑOS ESPERADOS EN LA RED DE GAS PARA EL SISMO CERCANO MODERADO (0.12g)
- 4.17 DAÑOS ESPERADOS EN LA RED DE GAS PARA SISMO CERCANO FUERTE (0.20g)
- 4.18 CLINICAS Y HOSPITALES CLAVES PARA LA CIUDAD EN CASO DE SISMO
- 4.19 ESCENARIOS DEPORTIVOS Y PARQUES ÚTILES PARA ALOJAMIENTO TEMPORAL EN CASO DE SISMO

NOTA: En el sobre se encuentran:

Mapa No. 1 MAPA GEOLÓGICO DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ

Mapa No. 2 MAPA DE ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ

MAPA No. 3 MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ