

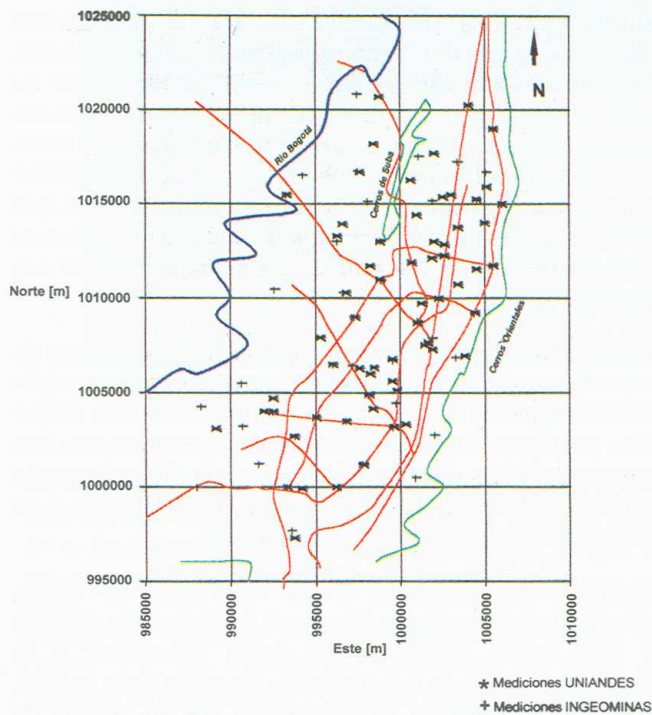


FIGURA 3.3 PLANO BÁSICO DE LA CIUDAD DONDE SE INDICAN LOS PUNTOS SELECCIONADOS PARA EL REGISTRO DE MICROTREPIDACIONES

Considerando la información geológica y geotécnica disponible dentro del marco del presente proyecto se elaboró un mapa donde se identifican las zonas de respuesta dinámica similar para la zona de estudio definida. Este mapa reúne informaciones geológicas, geotécnicas y mediciones directas de microtrepidaciones en diferentes puntos de la ciudad. Como se explicó anteriormente, los períodos indicados en cada una de las zonas propuestas no corresponde necesariamente al período de vibración fundamental del depósito sino que corresponde a alguno de los modos de vibración superiores del depósito. Sin embargo, la forma de las diferentes zonas sí obedece a un cambio claro en el comportamiento dinámico del depósito y por lo tanto la información consignada en dicho mapa resulta vital a la hora de realizar el mapa general de zonificación sísmica de la ciudad. Naturalmente este es un mapa base que debe trabajarse en el futuro de manera que se pueda ir complementando y mejorando con base en la información que esté disponible en cada momento (Figura 3.4)

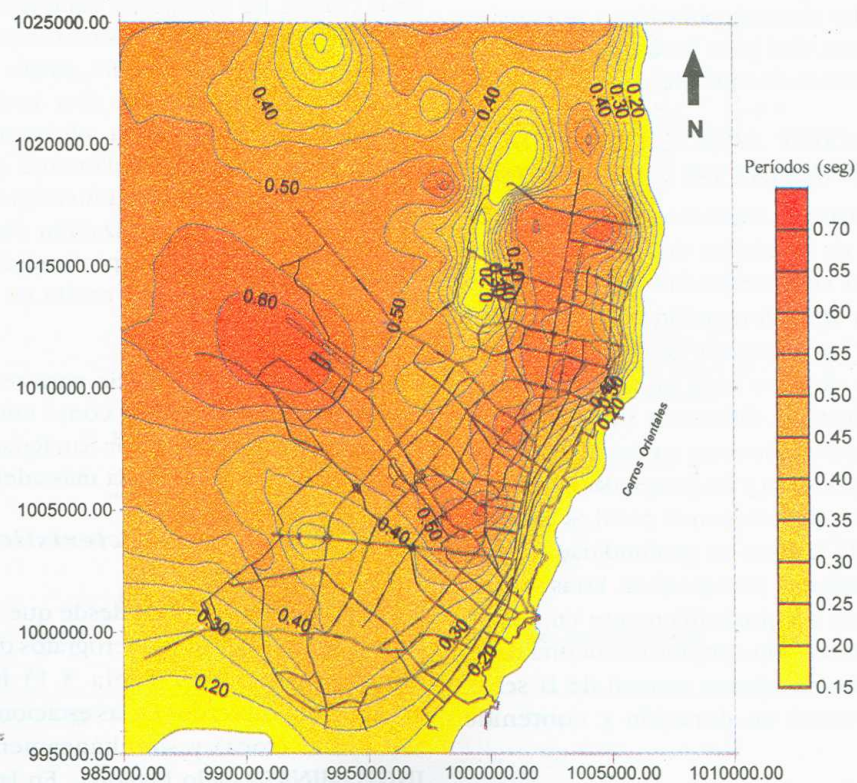


FIGURA 3.4 PERÍODOS DE VIBRACIÓN DOMINANTES A PARTIR DE MICROTREPIDACIONES

3.1.4 Observaciones finales

Las microtrepidaciones demuestran ser una herramienta versátil para determinar principalmente el período de vibración predominante de depósitos de suelo blando no muy profundos cuyo comportamiento se asemeja al de un estrato blando uniforme sobre un semiespacio infinito de suelo competente. Para el caso de Bogotá las suposiciones básicas no se cumplen del todo por lo cual hay que recurrir a una interpretación especial de los resultados que se obtienen.

Considerando que la energía de las fuentes que producen las microtrepidaciones (como son el tráfico y demás fuentes posibles) es limitada y dada la considerable profundidad de los depósitos de suelo, en el caso de Bogotá, el período de vibración predominante determinado a partir de las mediciones de microtrepidaciones resulta en general menor que el período de vibración fundamental de los depósitos mismos. La eventual modelación de las microtrepidaciones se complica por los aspectos mencionados y por el origen y características de la fuente. Este problema requiere mucha más investigación en el futuro.

La información que se puede obtener a partir de la interpretación de los registros de microtrepidaciones es útil de todas maneras para establecer zonas con diferente respuesta dinámica. De esta manera aún con las limitaciones planteadas las microtrepidaciones se convierten en una herramienta vital para desarrollar mapas de microzonificación sísmica de ciudades.

3.2 INFORMACIÓN SÍSMICA Y MODELO UNIDIMENSIONAL DE CALIBRACIÓN

Con el fin de desarrollar una metodología de análisis de la respuesta sísmica de depósitos de suelo basada en modelos teóricos del comportamiento del mismo, es necesario contar con una información básica confiable que permita realizar la calibración de los modelos. Lo ideal para lograr este objetivo sería un conjunto de registros de acelerogramas en diferentes sitios de la ciudad en los cuales debería conocerse en detalle las características geotécnicas básicas y las propiedades dinámicas de los suelos predominantes en el perfil. Se requerirían señales a nivel de la roca en profundidad al igual que las señales de respuesta en superficie. Estas señales en superficie deberían ser preferiblemente en campo libre para evitar la interacción con una estructura dada, la cual tiende a cambiar la forma general de la señal, tanto en amplitud como en duración y contenido frecuencial.

Una vez conformado el modelo del perfil estratigráfico en los diferentes sitios de la ciudad y habiendo asignado

las propiedades estáticas y dinámicas a cada uno de los suelos característicos, puede excitarse el modelo con alguna de las señales disponibles a nivel de la roca base. La calibración consistiría básicamente en comparar las respuestas obtenidas a nivel de superficie con las señales medidas en el sitio determinado para el mismo evento que se está tratando de modelar. Se podría establecer mediante ensayo y error las recomendaciones que deben seguirse en la modelación de una estratigrafía dada para minimizar las diferencias observadas entre la respuesta real y la dada por el modelo.

Luego de calibrado, el modelo puede utilizarse para estimar la respuesta esperada ante otras excitaciones diferentes como es el caso de los sismos de diseño definidos. La metodología permitiría además establecer la respuesta en sitios diferentes a los puntos de calibración teniendo como información básica la estratigrafía y las propiedades de los suelos dominantes.

Debido a que apenas en el año 1993 entró en operación la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) y que hasta ahora se ha dado prioridad a la instrumentación de los depósitos de suelo de la ciudad, sólo se dispone en la actualidad de un punto de calibración, en el cual se han registrado hasta el momento 4 eventos de alguna importancia. El punto en mención se trata de la estación de INGEOMINAS ubicada en la sede de esta entidad en la zona centro-oriental de la ciudad. En este punto caracterizado desde el punto de vista geotécnico por suelos blandos hasta una profundidad del orden de 180m, existe un acelerógrafo en superficie y se cuenta con toda la información geotécnica necesaria para adelantar el modelo antes mencionado. Desafortunadamente era el único punto de suelo blando que estaba instrumentado en la ciudad en el momento de la realización del proyecto y no se disponía de un aparato en profundidad para conocer en detalle la señal de roca que excita, en un momento dado, el perfil estratigráfico.

Como puntos de referencia para tener una aproximación de la señal de roca se contó con las estaciones del Rosal cerca a Facatativá y de San Rafael cerca a la Calera, a las que se hace referencia más adelante.

3.2.1 Datos y características de eventos sísmicos

De los eventos ocurridos desde que inició la operación de la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia (RNA), apenas cuatro (ver Tabla 3.1) han excitado los acelerógrafos ubicados en las estaciones del Rosal (roca), San Rafael (roca) y simultáneamente la estación de INGEOMINAS (suelo blando). En la Tabla 3.1 se resumen las características principales de los cuatro eventos mencionados.



EVENTO No.	NOMBRE	FECHA	PROFUNDIDAD	MAGNITUD	DISTANCIA EPICENTRAL (KM)*
1	Páez	6/6/94	Superficial	6.4	292.5
2	Tauramena	1/19/95	15	6.5	141.8
3	Calima	2/8/95	100	6.6	297.3
4	Ecuador	10/21/95	33	6.1	879.0

*Distancia epicentral aproximada a la Estación INGEOMINAS

TABLA 3.1 EVENTOS SÍSMICOS UTILIZADOS EN EL ESTUDIO

En la Figura 3.5 se presenta la ubicación de los epicentros de los sismos utilizados en este estudio y las estaciones de la Red Sismológica Nacional incluyendo las que se ubican en la zona bajo estudio.

Finalmente, la Figura 3.6 presenta como ilustración los registros de la componente Este-Oeste del sismo de Tauramena con el fin de comparar la diferencia entre las dos eventuales señales en roca que estarían produciendo la respuesta registrada en la superficie del suelo blando.

Además, se incluye en dicha figura la comparación de los espectros de respuesta correspondientes.

Del análisis visual de los registros disponibles se obtienen algunas observaciones preliminares de importancia :

Es evidente la amplificación que se presenta en los registros de suelo blando con respecto a los de roca. Se observan factores de amplificación de 3 a 10 o más

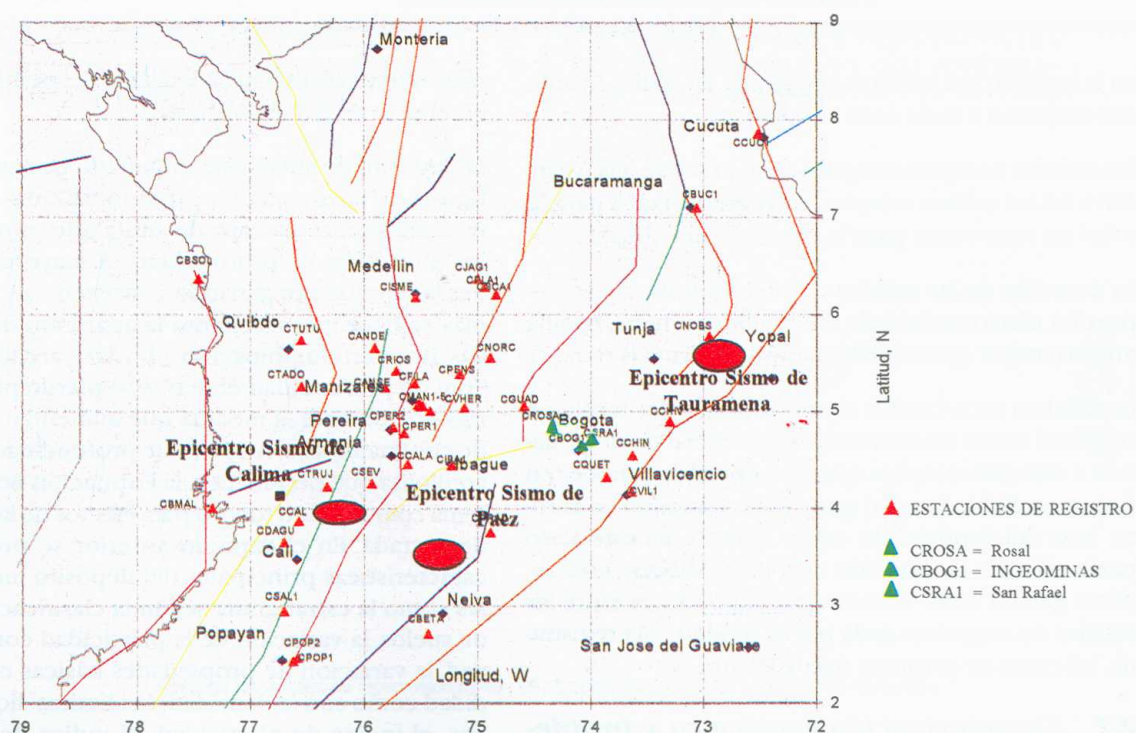


FIGURA 3.5 UBICACIÓN DE LOS EPICENTROS DE LOS SISMOS UTILIZADOS EN ESTE ESTUDIO Y LAS ESTACIONES DE LA RED SISMOLÓGICA NACIONAL

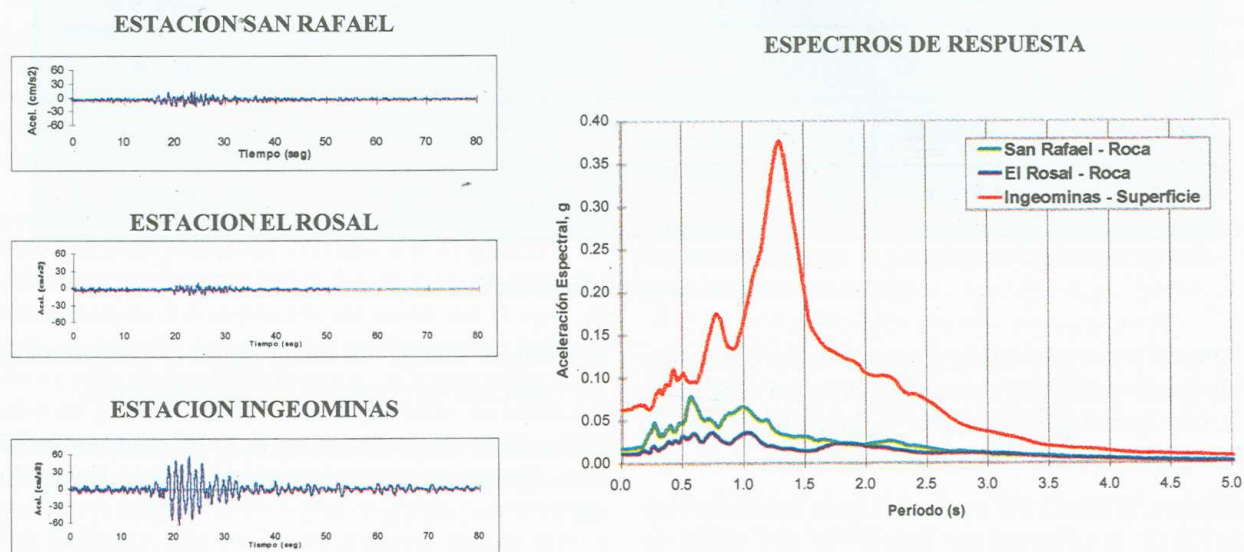


FIGURA 3.6 COMPARACIÓN DE LAS COMPONENTES EW REGISTRADAS EN EL SISMO DE TAURAMENA Y SUS RESPECTIVOS ESPECTROS DE RESPUESTA

en la aceleración máxima registrada en suelo blando con respecto a la de roca equivalente.

- Las señales horizontales predominan sobre las verticales en los cuatro eventos analizados tanto para la señal en roca como para la señal en suelo blando.
- La duración de las señales en suelo blando, al menos para un cierto umbral de aceleración mínima, resulta mucho mayor que aquella para suelo firme o roca.
- La señal en roca cambia significativamente, tanto en amplitud como en contenido frecuencial de una estación a otra. Esto implica que no es posible conocer en forma confiable la señal que estaría entrando en la roca base del depósito de suelo blando, en este caso particular en la estación de INGEOMINAS. Este aspecto genera unas variaciones importantes entre las señales de respuesta dada por el modelo y la registrada, tal como se presenta más adelante.

3.2.2 Caracterización geotécnica y propiedades dinámicas

Para efectos del análisis de respuesta dinámica mediante un modelo unidimensional de la estratigrafía y para poder calibrar los modelos analíticos se realizó una ca-

racterización geotécnica detallada del perfil estratigráfico en el sitio de INGEOMINAS.

El depósito de suelo está dominado por arcillas blandas típicas de la sabana con capas localizadas de turbas, intercalados por una capa de arena que se presenta entre los 30 y 37 m de profundidad. A mayores profundidades las arcillas van ganando consistencia y rigidez y además se hace más frecuente la aparición de limos y arenas finas en combinación con las arcillas. Hacia los 70m de profundidad el depósito pierde plasticidad y la rigidez aumenta a medida que aumentan las presiones de confinamiento. A 180 m de profundidad aparece una arcillolita que pertenece a la Formación Bogotá y que se toma como estrato rocoso para efectos de la señal sísmica de entrada. En el capítulo anterior se presentaron las características principales del depósito mencionado tales como la estratigrafía según la clasificación unificada de suelos, la variación de la plasticidad con la profundidad, la variación de propiedades básicas con la profundidad como son la densidad, los límites líquido y plásticos, el índice de plasticidad, el índice de liquidez, los resultados de medición de resistencia al corte con el método de la veleta y los puntos donde se realizaron ensayos especiales como son triaxiales cíclicos y medición de velocidades de onda en Laboratorio.