



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

CONCEPTO TECNICO No. CT- 4176 de 2005

Revisión de Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas Artículo 7 - Decreto 074 de 2001

1. INFORMACIÓN GENERAL

ENTIDAD SOLICITANTE: Alfonso Uribe Sardiña
LOCALIDAD: Teusaquillo
BARRIO: Florida
PROYECTO: **Puente Avenida NQS con Calle 26**
UPZ: 107 Quinta Paredes
TIPO DE RIESGO: Sísmico
EJECUTOR: Alfonso Uribe S y Cía Ltda.
FECHA DE EMISION: Julio 12 de 2005

2. ANTECEDENTES

De acuerdo con el Decreto 074 del 30 de enero de 2001, por el cual se complementa y modifica el Código de Construcción de Bogotá D.C., se identifican los límites de Microzonificación Sísmica de Bogotá, D.C. y se adoptan los espectros de diseño, se establece que las construcciones y edificaciones de cualquier índole que se levanten en Bogotá D. C., o que sean ampliadas, adecuadas o modificadas en forma tal que conlleven intervención estructural, deberán diseñarse y construirse dependiendo de la zona en la cual se encuentren según la Microzonificación Sísmica, acogiendo al efecto los espectros de diseño y sus coeficientes espectrales adoptados para cada zona.

Por otra parte, el artículo 5 del Decreto antes mencionado establece que podrán utilizarse espectros sísmicos de diseño diferentes a los definidos en dicho decreto, siempre y cuando se definan unos efectos locales particulares para el lugar donde se encuentra localizada la edificación, utilizando estudios de amplificación de las ondas sísmicas que se realicen de



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

acuerdo con lo prescrito en los ordinales (e) a (i) de la sección A.2.9.3 del Decreto 33 de 1998, o estudios especiales referentes a efectos topográficos, cuando sea del caso. Adicionalmente, el parágrafo único del artículo 7 del Decreto 074 de 2001, establece que la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias realizará la revisión de los Estudios Particulares de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas y emitirá concepto sobre el cumplimiento de los términos de referencia establecidos para la ejecución de dichos estudios.

El Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá, D.C. – FOPAE - y la Sociedad Colombiana de Geotecnia – SCG – han acordado la realización de una asesoría técnica por parte de la SCG al FOPAE, en la Revisión de Estudios y Metodologías de Evaluación de Riesgo Sísmico y por Fenómenos de Remoción en Masa.

El presente concepto técnico corresponde a la **segunda revisión** realizada por la Sociedad Colombiana de Geotecnia del Estudio de Suelos y el Estudio Particular de Respuesta Local y de Amplificación de Ondas Sísmicas, para las obras de adecuación, mantenimiento estructural y actualización sísmica del Puente Vehicular de la Troncal NQS con Calle 26, de la ciudad de Bogotá D.C., en cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 074 de 2001.

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO

El estudio entregado para revisión por esta sociedad indica que el proyecto está localizado en la Troncal NQS con Calle 26 en la ciudad de Bogotá, D.C. (Figura 1), en la actualidad el puente tiene seis (6) luces, que varían entre 8.0 y 30.8 m de longitud, cada eje transversal del puente cuenta con cuatro apoyos, el proyecto de ampliación del puente para el sistema de Transmilenio se hará tanto a oriente como a occidente con nuevos apoyos coincidentes con los ejes transversales, en el informe se incluye una breve descripción del sistema de pilotes a construir en un futuro, y de las cargas estáticas y dinámicas a que serán sometidos.

El perfil estratigráfico y la profundidad de los estratos de suelo en el sitio del proyecto es variable, donde superficialmente hay rellenos arenosos y material granular hasta unos 6.7 m, luego se encuentran arcillas de color café y limos arcillosos de consistencia media, y llegan hasta profundidades de 20.1 m, más abajo se presentan arenas con una densidad media compacta, a continuación aparecen limos arcillosos y arcillas hasta 44.8 m de profundidad, luego aparecen arcillas de consistencia media a muy dura.

El lote del proyecto corresponde a las siguientes coordenadas planas aproximadas:



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

103395 N
99583 E

El Estudio de Suelos y Geotecnia para el sitio del proyecto del Puente de la Avenida NQS con Calle 26, fue realizado por la firma Alfonso Uribe S. y Cía. Ltda. Estudios de Suelos, los Ensayos de Down-Hole fueron realizados por la firma PSI S.A., mientras que el anexo C, Análisis de Respuesta Sísmica, que incluye el estudio particular de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas fue elaborado por el Ing. Jorge Alberto Rodríguez, PhD. Los ensayos dinámicos sobre muestras inalteradas de los suelos fueron realizados por el Laboratorio de Pruebas y Ensayos de la Pontificia Universidad Javeriana.

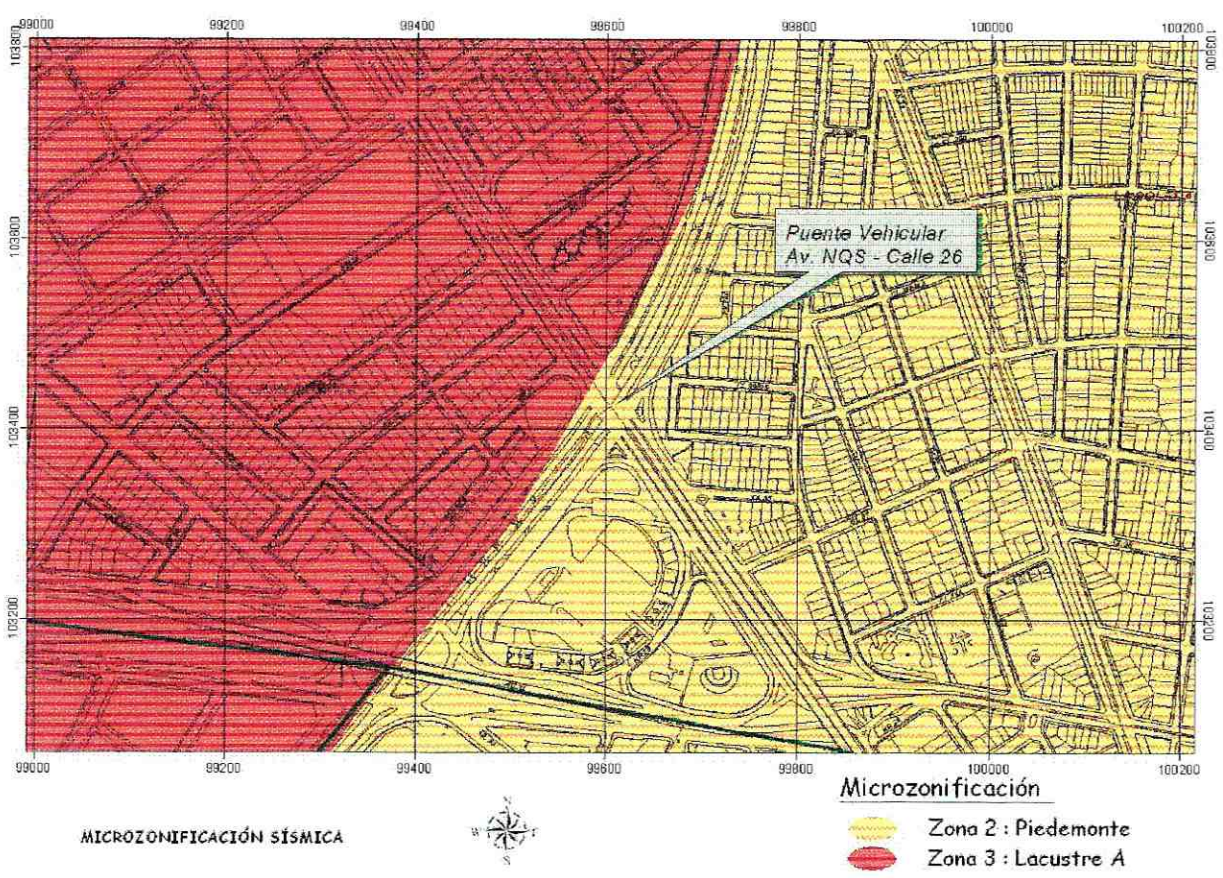


Figura 1 Localización de Proyecto Puente NQS con Calle 26



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

4. PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO

La revisión del informe AUS-2610, correspondiente al Análisis de Respuesta Sísmica del Puente Vehicular de la Troncal NQS con Calle 26, se hace a la luz de los requerimientos consignados en el Decreto 074 de 2001 para este tipo de estudios.

El propósito de la revisión es verificar que el estudio cumpla con los requerimientos del decreto, de manera que se pueda verificar de manera razonable la validez del espectro de diseño recomendado, cuando dicho espectro es diferente al espectro de diseño definido por el Decreto 074.

El concepto técnico relacionado con el estudio de respuesta local del subsuelo se presenta, con referencia a los requerimientos pertinentes del decreto antes mencionado que se listan a continuación.

4.1 Asignación de la zona del proyecto con respecto a la Microzonificación Sísmica de Bogotá.

En el capítulo 3 del Anexo C del informe se define la localización del lote del proyecto de acuerdo con el mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá, ubicándolo en la zona de transición entre la Zona 2 y la Zona 3. Sin embargo, la ubicación del proyecto según El Decreto 074 de 2001 esta en la Zona 2, Piedemonte. El informe del consultor debe aclarar este particular.

4.2 Para estos estudios, todos los datos de campo deben provenir de mínimo una perforación de 50 m en suelos blandos y se debe realizar un número suficiente de ensayos para caracterizar el perfil. Para complementar la información del perfil del subsuelo, cuando la profundidad de sedimentos sea mayor a 50 m, se puede consultar: estudios geofísicos, estudios geotécnicos, ensayos de campo y laboratorio y los estudios de zonificación incluidos en el proyecto de Microzonificación Sísmica de Bogotá.

Para conocer el perfil y propiedades del subsuelo en el lote del proyecto se realizaron tres (3) perforaciones, las cuales alcanzaron profundidades de 21.90 m, 22.60 m, y 50.80 m, respectivamente. A partir de estas perforaciones se identificó que los estratos de suelo en la zona están conformados por capas de arcillas y arenas. De los sondeos realizados se obtuvieron muestras remoldeadas, las cuales fueron ensayadas para su



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

clasificación y humedad, también se lograron realizar ensayos SPT y los resultados obtenidos son presentados.

Del mapa de espesores de sedimentos proveniente del estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, se determina que la profundidad del estrato de suelos va hasta los 125 m.

El estudio cumple en este sentido con las exigencias del Decreto 074 de 2001.

4.3 Realizar ensayos de velocidad de onda de corte, Vs, por medio de métodos de campo como down hole, cross hole y otros equivalentes.

Para el estudio se hizo un ensayo de Down-Hole con una profundidad de 43.5 m., estos con el fin de definir el perfil de la velocidad de onda, Vs. en profundidad. En el informe se presentan las figuras de profundidad vs. Tiempo de viaje, correspondiente a los ensayos de Down-Hole realizados por la firma PSI.

Los ensayos realizados no cubren en su totalidad con el rango de profundidades necesarias para lograr una completa y correcta caracterización de los perfiles de los suelos, como lo exige el Decreto 074 de 2001, el ensayo deben alcanzar como mínimo una profundidad de 50 m., para lograr el objetivo deseado.

Es necesario mejorar en este particular con el objeto de validar el estudio propuesto.

4.4 Realizar ensayos dinámicos para determinar módulos de corte, G, y relaciones de amortiguamiento, D, sobre muestras inalteradas que cubran todo el intervalo de deformaciones (Velocidad de onda de corte en laboratorio, columna resonante, corte simple cíclico, triaxial cíclico, etc.).

En este estudio se adelantaron ensayos dinámicos para muestras inalteradas a profundidades de 9, 24 y 50 m., pero el modelo dinámico y las gráficas presentadas en el informe presentan cuatro (4) tipos de materiales, es necesario que el consultor explique en detalle esta inconsistencia, adicional a lo anterior, a las profundidades donde se hicieron los ensayos (9, 24 y 50 m.) solo se le asignan dos (2) tipos de materiales, pues a la profundidad de 9 se le asigna material tipo 1, y a las profundidades de 24 y 50 m., se les asigna tipo de material 2, este particular es muy importante, pues el consultor esta demostrando que para las profundidades donde realizo los ensayos



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

dinámicos solo corresponden dos (2) tipos de materiales, la pregunta que queda es: de donde provienen las propiedades y curvas de degradación de la rigidez, y amortiguamiento, de los otros dos (2) tipos de materiales utilizados en el estudio?

En la figura 3.6 se presentan una curva de degradación de la rigidez y de amortiguamiento, pero en esas curvas el rango de deformación va desde 0.1% hasta 3%, pero no se cubre el rango de deformaciones inferiores a 0.1%, el cual es muy importante, es absolutamente necesario que el consultor realice ensayos para el rango de deformaciones inferiores a 0.1%, pues el estudio en este aspecto no cumple con los requisitos al decreto 074 de 2001.

En la figura 3.7 se presenta una situación similar a la presentada anteriormente en la figura 3.6, se le reitera al consultor la necesidad de realizar ensayos a deformaciones inferiores al 0.1%, pues el estudio no cumple con el decreto 074 de 2001.

En la tabla 3.3, se presentan los parámetros de los tipos de materiales utilizados para la modelación bidimensional, pero en ninguna parte del informe se describe como se determinaron esos parámetros, es absolutamente necesario indicar como se asignaron cada uno de los valores presentados a cada uno de los materiales.

El estudio NO cumple en cuanto los requerimientos de ensayos dinámicos.

4.5 Utilizar todos los acelerógramas del proyecto de microzonificación sísmica de Bogotá, en la obtención del espectro de respuesta en superficie.

En el estudio se propone utilizar un total de ocho (8) acelerogramas para las modelaciones unidimensionales, y seis (6) acelerogramas para las modelaciones bidimensionales. Sin embargo, en el estudio se presenta una inconsistencia, pues en la tabla 2.4 de sismos seleccionados se incluye como evento número 8 el registro de Michoacán (México-1985) Estación la Unión, con una aceleración máxima registrada de 0.13g, si este es el caso el estudio no cumple con el Decreto 074 de 2001, pues en el análisis no se están incluyendo los tres (3) registros de aceleración definidos por el Decreto, y que son de uso OBLIGATORIO en el análisis de respuesta sísmica. Sin embargo, la figura 2.1h al parecer no se presenta el registro de Michoacán (México-1985) Estación la Unión, en cambio presenta el registro del sismo de zona de subducción, fuente lejana, correspondiente al exigido por el Decreto, en caso de haber usado éste registro y no el presentado en la tabla 2.3, el informe cumpliría con los



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

requisitos del Decreto sobre este particular. Es necesario que se aclare sobre este respecto y se tomen las correcciones correspondientes al caso.

En el informe no se describe que componente del movimiento se seleccionó para la modelación de la respuesta (Vertical, Transversal o Longitudinal), esto es de vital importancia para poder validar las modelaciones presentadas tanto para el caso unidimensional, como para el bidimensional. También se debe aclarar si para la modelación de la respuesta se usó toda la señal del registro o solo se uso la ventana del registro que corresponde a las ondas de corte (ondas SH), esto es muy importante desde que usualmente los programas para modelación de la respuesta solo considera ondas de corte (SH).

4.6 Realizar mínimo un análisis unidimensional (SHAKE, EERA, etc), para todas las zonas de la microzonificación, siempre y cuando la pendiente del terreno sea inferior a 10 grados.

En el estudio presentado el consultor propone la utilización de modelos unidimensionales y bidimensionales para la evaluación de la respuesta sísmica de los suelos, Sin embargo para ambos modelos se presentan inconsistencias que deben ser aclaradas.

Para el modelo unidimensional se de aclarar de donde proviene el valor de la velocidad Vs para el estrato de roca (profundidad > 125 m.), adicionalmente se sugiere adelantar un estudio de sensibilidad de los resultados ante la variación de este parámetro, se recomienda el uso de algunas velocidades más altas y más bajas, a la que se determine como valor recomendado para la roca, dependiendo de la localización misma del proyecto. También es necesario aclarar de donde provienen los valores de Vs, para estratos de suelo entre los 50 m y los 125 m., así mismo se debe aclarar de donde proviene la estratificación planteada para estas profundidades, y la asignación de tipo de material y propiedades. Se le aclara al consultor que los programas de modelación unidimensional si son capaces de generar ondas superficiales, eso si la modelación esta usando el tren de ondas correcto.

En el modelo bidimensional de elementos finitos utilizados muestran elementos de diferentes tamaños, incluso algunos de ellos demasiado grandes para poder lograr una modelación adecuada de las bajas frecuencias contenidas en los acelerogramas. Es necesario que se indiquen los criterios utilizados para definir el tamaño de los elementos finitos, pues el tamaño de los elementos limita el rango de frecuencias valido de las



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

es más atribuible a la incorrecta escogencia del tamaño de los elementos, que a cualquier otro tipo de efecto (tal como se especula en el informe). Esto debe ser tratado con mucha cautela, pues también en el informe se presenta una gran inconsistencia cuando se afirma sin fundamento físico y válido alguno, “que la respuesta dinámica en estas condiciones está muy determinada por la generación de ondas superficiales (Raleigh)”, esta afirmación (que no está validada por ninguna evidencia física) se presenta en forma reiterada en el informe, lo cual es errado como se verá a continuación, pues bien es conocido, que las ondas superficiales Raleigh solo se pueden conformar por la interacción de ondas P y SV (las cuales están acopladas por naturaleza!!) con una superficie libre, los programas de modelación de ondas (en este caso PLAXIS), resuelven la ecuación de onda y las constantes de transmisión, reflexión y refracción de ondas, bajo la suposición que las ondas son ondas de corte tipo SH, las cuales solo pueden generar ondas internas SH y ondas superficiales Love. En otras palabras PLAXIS no puede modelar ondas superficiales Raleigh. Además según se presenta en el estudio la modelación bidimensional no usa las propiedades dinámicas de los suelos obtenidos de los ensayos, desde ese punto de vista las modelaciones bidimensionales NO son válidas.

El estudio presentado NO cumple con los requisitos en este particular.

4.7 Para todas las zonas, el espectro de diseño obtenido no puede ser menor que el espectro mínimo establecido para cada zona en la Microzonificación Sísmica de Bogotá.

El informe presenta en la figura 3.20 una comparación de los espectros mínimo y máximo de las zonas 2, y 3 del estudio de microzonificación sísmica de Bogotá D.C., así mismo se presentan los espectros promedios obtenidos mediante los análisis de respuesta unidimensional y bidimensional, al respecto hay varios particulares:

- a. Las comparaciones deben realizarse con respecto a los espectros obtenidos en cada caso para cada registro por separado, si el consultor desea calcular promedios y colocarlos como referencia en las comparaciones, bien puede hacerlo, pero el decreto 074 de 2001, claramente exige la utilización de cada una de las señales, y de la comparación con cada una de las señales se puede determinar la validez o no de los espectros propuestos en la microzonificación.*
- b. Las comparaciones deben realizarse con respecto al espectro de la zona donde se encuentre localizado en proyecto, en este caso en la zona 2 de Piedemonte.*



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

- c. *El espectro de diseño resultante en este caso debe corresponder al de la zona 2 como lo indica la microzonificación sísmica de Bogotá, o en su defecto el espectro mínimo para la zona 2, como lo indica el decreto 074 de 2001, en caso que ninguna de las modelaciones sobrepase el espectro mínimo en ninguno de los periodos de vibración.*

La validez de los espectros de respuesta en superficie está condicionada a aclarar las inconsistencias y dudas planteadas, en especial en la modelación. Además el espectro sugerido debe cumplir a cabalidad los requisitos del decreto 074 de 2001.

5. SEGUNDA REVISIÓN DEL ESTUDIO

5.1 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 4.1

Desde la revisión anterior el informe cumple con este requerimiento.

5.2 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 4.2

Desde la revisión anterior el informe cumple con este requerimiento.

5.3 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 4.3

En la presente versión del estudio, el consultor justifica la profundidad del ensayo de ondas de corte, además se explica la metodología de como se determinan las velocidades V_s en la zona de estudio, de esta manera el estudio cumple con este requerimiento.

5.4 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 4.4

En la presente versión del informe el consultor muestra de manera consistente la información de los ensayos dinámicos, además se explican la manera como se construyeron las curvas, por lo tanto el estudio cumple con este requerimiento.

5.5 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 4.5

El presente informe aclara las inconsistencias encontradas en el informe pasado, el informe cumple con este requerimiento.



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

DIRECCION DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



CONVENIO FOPAE – SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTÉCNIA

5.6 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 4.6

El presente informe aclara las inconsistencias encontradas en el informe pasado, el informe cumple con este requerimiento.

5.7 ATENCION DADA A LA OBSERVACIÓN 4.7

El presente informe cumple con este requerimiento.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de la presente revisión, se concluye que el estudio de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas cumple a la luz de los requerimientos mínimos consignados en el Decreto 074 de 2001.

Revisó y Aprobó:

ADOLFO ALARCÓN GUZMÁN
Presidente y Representante Legal
Sociedad Colombiana de Geotecnia

Revisó:

ING. JUAN CARLOS PADILLA R.
Grupo de Riesgo Sísmico
DPAE

VoBo:

ING. DIANA AREVALO SANCHEZ
Coordinadora Técnica
DPAE