# CONCEPTO TÉCNICO No CT - 4957
## Revisión de Estudio Particular de Respuesta Local de Amplificación de Ondas Sísmicas Artículo 7 - Decreto 193 de 2006

## 1 INFORMACIÓN GENERAL

| | |
|---|---|
| **ENTIDAD SOLICITANTE:** | Ing. José Joaquín Álvarez – Curaduría Urbana No 4 |
| **PROYECTO:** | **RESERVA DE LA SIERRA (Torres I, II y III)** |
| **LOCALIDAD:** | 1 Usaquén |
| **UPZ:** | 14 Usaquén |
| **BARRIO:** | San Gabriel Norte |
| **DIRECCIÓN:** | Carrera 7 No 126 - 30 |
| **TIPO DE RIESGO:** | Sísmico |
| **EJECUTOR:** | Jeoprobe Ltda. |
| **FECHA DE EMISION:** | Septiembre 7 de 2007 |

## 2 ANTECEDENTES

En el Decreto 193 del 08 de junio de 2006, por el cual se complementa y modifica el Código de Construcción de Bogotá, D.C., se adoptan los espectros de diseño y las determinantes del estudio de Microzonificación Sísmica, se establece que las construcciones y edificaciones nuevas de cualquier índole que se levanten en Bogotá Distrito Capital, deberán diseñarse y construirse dependiendo de la zona en la cual se encuentren según la zonificación sísmica adoptada a través de los artículos anteriores, acogiendo al efecto el espectro 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 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 193 de 2006, 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 presente concepto técnico corresponde a la **segunda revisión** realizada por la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, del "Estudio particular de amplificación de ondas sísmicas para el proyecto ubicado en la calle 126 con carrera 7. (Reserva de la Sierra)" elaborado por el Ing. Jorge Alberto Rodríguez, a construirse en el predio ubicado en la Carrera 7 No 126 – 30, el cual fue radicado el 20 de marzo de 2007 mediante el oficio ER-3064 por el Ing. José Joaquín Álvarez de la Curaduría No 4, y del oficio aclaratorio ER-10923 radicado el 23 de Agosto de 2007 por la firma Jeoprobe Ltda.

El propósito de la revisión es verificar que el estudio cumpla con lo exigido en el 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 193.

## 3 GENERALIDADES DEL PROYECTO

El estudio entregado para revisión indica que en el lote donde se va a construir el proyecto se contempla la construcción de siete torres de 12 pisos y dos de 7 pisos de altura para vivienda con tres niveles de parqueo, el primero a nivel de semisótano o parcialmente enterrado y los otros dos enterrados con relación al nivel actual de la superficie del terreno.

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

111571 N 105432 E

Dada la variación geotécnica de los depósitos donde se encuentra localizado el proyecto, se aclara que el estudio de efectos locales revisado cubre únicamente las Torres I, II, y III, que se encuentran en la parte baja del lote tal como se indica en la Figura 1 del presente concepto.

El "Estudio particular de amplificación de ondas sísmicas para el proyecto ubicado en la calle 126 con carrera 7. (Reserva de la Sierra)" fue elaborado por el Ing. Jorge Alberto Rodríguez, con el soporte del "Estudio de suelos y análisis de cimentación Torres I, II y III Calle 126 con Carrera 7" de la firma LFO Ltda.

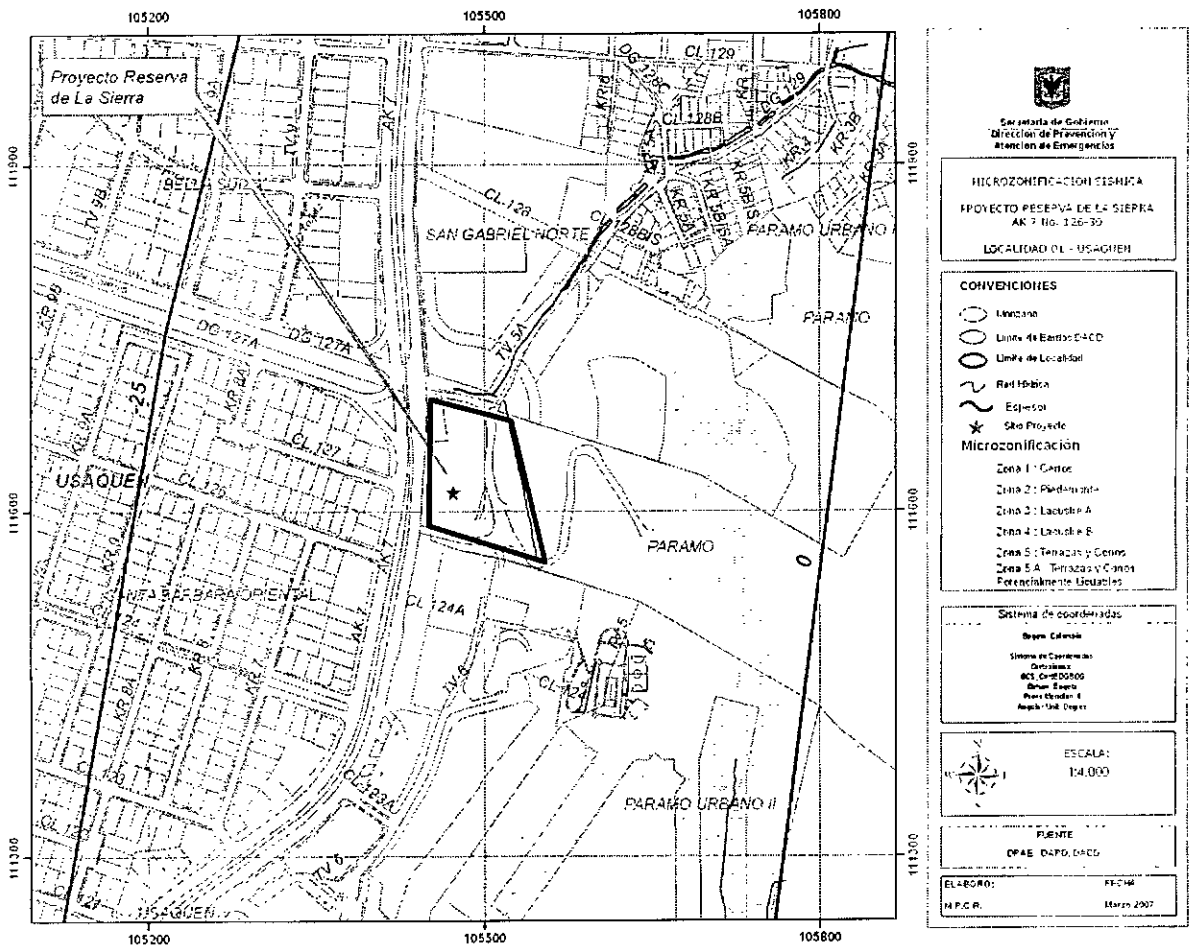



Figura 1. Localización del Proyecto Reserva de la Sierra

## 4 PRIMERA REVISIÓN DEL ESTUDIO (MARZO DE 2007)

El concepto técnico 4737 de marzo de 2007 emitido por la DPAE relacionado con el estudio de respuesta local del subsuelo, se transcribe a continuación:

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

En el numeral 1.1 y 3.2 del informe se indica que el proyecto se localiza en la Zona 2 (Piedemonte) de acuerdo con el mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá, aunque muy próximo a la Zona 1. El área del predio se encuentra en un sector donde se presenta una transición de depósitos coluviales a depósitos lacustre y hacia el costado oriental

afloran las rocas del cerro oriental de Bogotá. Esta ubicación se ilustra en la Figura 1 del presente concepto técnico.

Dado que el proyecto arquitectónico contempla la construcción de nueve torres distribuidas desde la zona de piedemonte (Carrera 7) hasta la zona de roca (Parte alta del predio), y el estudio de suelos corresponde únicamente a las tres primeras torres localizadas en la zona de piedemonte. Es necesario que el consultor indique claramente los alcances del estudio particular de respuesta en un plano destacando el área estudiada con respecto al predio y proyecto arquitectónico, debido a que la parte alta del lote corresponde a la zona de cerros que no fue analizada en el estudio particular de respuesta.

El estudio NO CUMPLE con este requerimiento.

**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.**

De acuerdo con el Numeral 1.3.2 y 3.2, para conocer el perfil y propiedades del subsuelo en el lote del proyecto LFO Ltda realizó dos (2) perforaciones, con profundidades que varían entre los 27 y 47 m, logrando encontrar el contacto con la roca a los 40 m de profundidad. Adicionalmente se contó con siete (7) sondeos realizados por el Ing. Aquiles Arrieta. Se obtuvieron muestras remoldeadas que se utilizaron para su clasificación visual y realización de ensayos de laboratorio de límites de consistencia y gradaciones. El resultado de estas perforaciones fue complementado con ensayos de resistencia a la penetración SPT. Adicionalmente se presenta en el informe los registros de las perforaciones, la ubicación dentro del lote del proyecto y los resultados de laboratorio.

Según el numeral 3.2 la investigación de campo y los resultados de los ensayos de laboratorio realizados permitieron una caracterización de la estratigrafía en el sitio de proyecto hasta la profundidad de 47 m como se describe:

De 0 a 1.2 m Rellenos heterogéneos
De 1.2 a 2.7 m Arcillas color gris de consistencia alta
De 2.7 a 11 m Coluvión, arcilla gravosa gris amarilla y café con gravas, bolos y arenas.
De 11 a 30 m Arena gravosa rojiza y gris con gravas, bolos y cantos.
De 30 a 40 m Grava y arcillas arenosas gris consistencia y densidad alta.
De 40 a 47 m Roca arenisca amarilla a negra.

El cumplimiento de este requerimiento está supeditado a la aclaración de la observación del punto 4.1.

El estudio CUMPLE PARCIALMENTE con este requerimiento.

**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.**

Según los numerales 1.3.2 y 3.2, en el sondeo 1 se indica la realización de un (1) ensayo de Down-Hole a una profundidad de 44 m., con el fin de definir el perfil de la velocidad de onda, Vs. Los resultados del mismo se indican en la figura 3.3. El ensayo Down-Hole lo realizó la firma AM Ingenieros, obteniendo los siguientes resultados:

| | |
|---|---|
| 2 – 5 m | 196 m/s |
| 5 – 10 m | 338 m/s |
| 10 – 17 m | 282 m/s |
| 17 – 30 m | 310 m/s |
| 30 – 40 m | 257 m/s |
| 40 – 44 m | 319 m/s |

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

**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.).**

El consultor indica en el numeral 3.2, Ensayos Dinámicos de Laboratorio, que no se lograron recuperar muestras inalteradas debido a la consistencia y densidad de los suelos explorados, por lo cual obtuvieron la curvas de degradación del material a partir de las curvas dadas por Ishibashi y Zhang (1992) para el tipo de materiales encontrados en la zona del proyecto teniendo en cuenta los niveles de esfuerzos, el índice de plasticidad y complementado con información de un proyecto aledaño al sitio de interés (Cll 128 con Cr 7).

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

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

En el estudio en el numeral 2.4 se utilizan un total de catorce (14) acelerogramas de los sismos alternativos aprobados por la DPAE, acogiéndose a lo establecido en el numeral 3 del artículo 7.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

**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.**

El estudio utiliza el programa EERA (Bardet et al, 2000), que considera la propagación unidimensional de ondas de corte horizontal con un método lineal equivalente para tener en cuenta las variaciones del amortiguamiento y el módulo de corte con la deformación en los suelos del perfil. Los datos de los análisis se presentan en la Tabla 3.1, mientras que las características de los materiales se indican gráficamente en la Figura 3.4.

Como el proyecto se localiza en la zona 2, el consultor se acogió a lo indicado en el numeral 2 del artículo 7 del decreto 193, y efectuó análisis bidimensionales con el programa PLAXIS PROFESSIONAL V7.2 que se presenta en el numeral de "Respuesta Dinámica Bidimensional". Los datos de amortiguamiento, características de la malla de elementos, parámetros de los materiales utilizados, condiciones de frontera y parámetros de los materiales estructurales se presentan en ese numeral y en las figuras 3.7 y 3.8 además de la tabla 3.2.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

**4.7 Evaluación del potencial de licuación en los suelos susceptibles a licuarse.**

Dado que el sitio del estudio se encuentra en la zona 2, y que adicionalmente, en la exploración del subsuelo no se identificaron superficialmente capas de arenas limpias, finas, no es necesaria la evaluación del potencial de licuación.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

**4.8 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.**

Con base en los resultados de los análisis realizados se recomienda utilizar el espectro mínimo de la Zona 2 con un pico entre 0.25 y 0.4 s que cubre la respuesta del campo cercano, proponiendo un espectro de respuesta que se presenta en la figura 3.13 y en la Tabla 4.1 del estudio, el cual se ilustra en la Figura 2 de este concepto, donde se aprecia que el espectro propuesto es superior al mínimo de la Zona 2 hasta los 3.6 s y luego pasa a ser inferior al mínimo establecido en el decreto 193 de 2006. Además el valor de Sa de la Tabla 4.1 para un periodo igual a 0 s es de 0.2 g inferior al mínimo para esta zona establecido en 0.24 g en el decreto 193 de 2006.

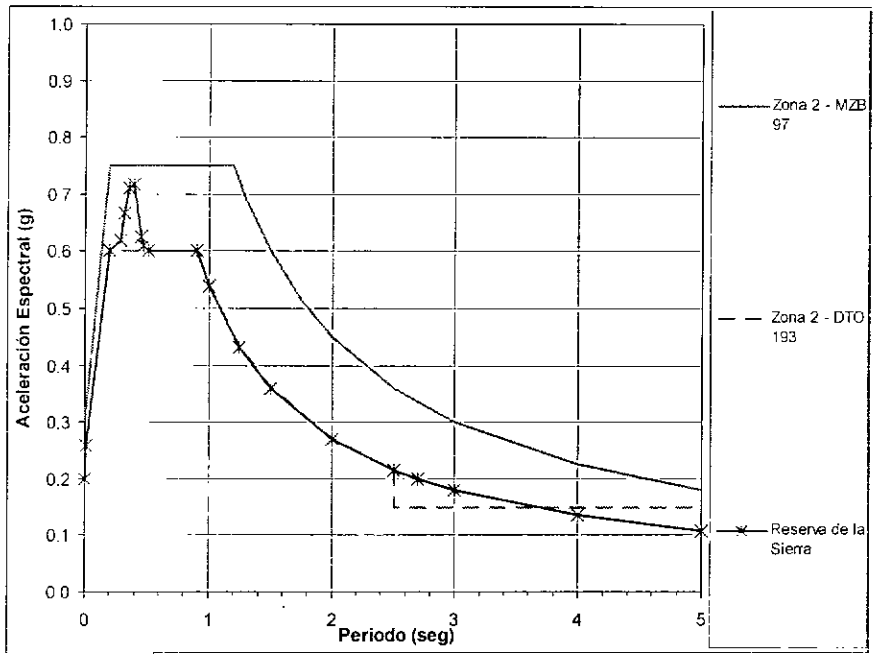



Figura 2. Espectro propuesto Proyecto Reserva de la Sierra

Se solicita al consultor aclarar los valores de la tabla 4.1 y precisar el alcance del estudio con respecto al predio del proyecto, debido a que el diseño arquitectónico contempla la construcción de nueve torres distribuidas desde la zona de piedemonte (Carrera 7) hasta la zona de roca (Parte alta del predio).

El estudio NO CUMPLE con este requerimiento.

## 5 SEGUNDA REVISIÓN DEL ESTUDIO

La segunda revisión del estudio "Estudio particular de amplificación de ondas sísmicas para el proyecto ubicado en la calle 126 con carrera 7. (Reserva de la Sierra)" que se remite como estudio sísmico local y del oficio aclaratorio ER-10923 radicado el 23 de Agosto de 2007, se efectúa siguiendo los requerimientos consignados en el Decreto 193 de 2006 para este tipo de estudios.

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

En el oficio aclaratorio ER-10923 del 23 de Agosto de 2007 el consultor anexa el plano de localización de las exploraciones realizadas en el estudio e indica la zona donde es aplicable el espectro propuesto, que en general corresponde a las torres I, II y III ubicadas

en la Zona 2 (Piedemonte) de acuerdo con el mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá. El área estudiada se ilustra en la Figura 1 del presente concepto técnico.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

**5.2 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.**

En el oficio ER-10923 del 23 de Agosto de 2007 el consultor aclara que el estudio cubre únicamente la zona donde se encuentran las exploraciones realizadas, la cual corresponde a la descripción realizada en el numeral 4.2 del presente concepto.

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

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

El estudio CUMPLE con este requerimiento desde la primera revisión.

**5.4 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.).**

El estudio CUMPLE con este requerimiento desde la primera revisión.

**5.5 Utilizar todos los acelerogramas del proyecto de microzonificación sísmica de Bogotá, en la obtención del espectro de respuesta en superficie.**

El estudio CUMPLE con este requerimiento desde la primera revisión.

**5.6 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.**

El estudio CUMPLE con este requerimiento desde la primera revisión.

## 5.7 Evaluación del potencial de licuación en los suelos susceptibles a licuarse.

El estudio CUMPLE con este requerimiento desde la primera revisión.

## 5.8 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.

En el oficio ER-10923 del 23 de Agosto de 2007 el consultor presenta los valores corregidos de la Tabla 4.1, proponiendo un espectro de respuesta que se ilustra en la Figura 3 del presente concepto, donde se aprecia que el espectro propuesto es igual al mínimo de la Zona 2 con un pico entre 0.25 y 0.4 s que cubre la respuesta del campo cercano.

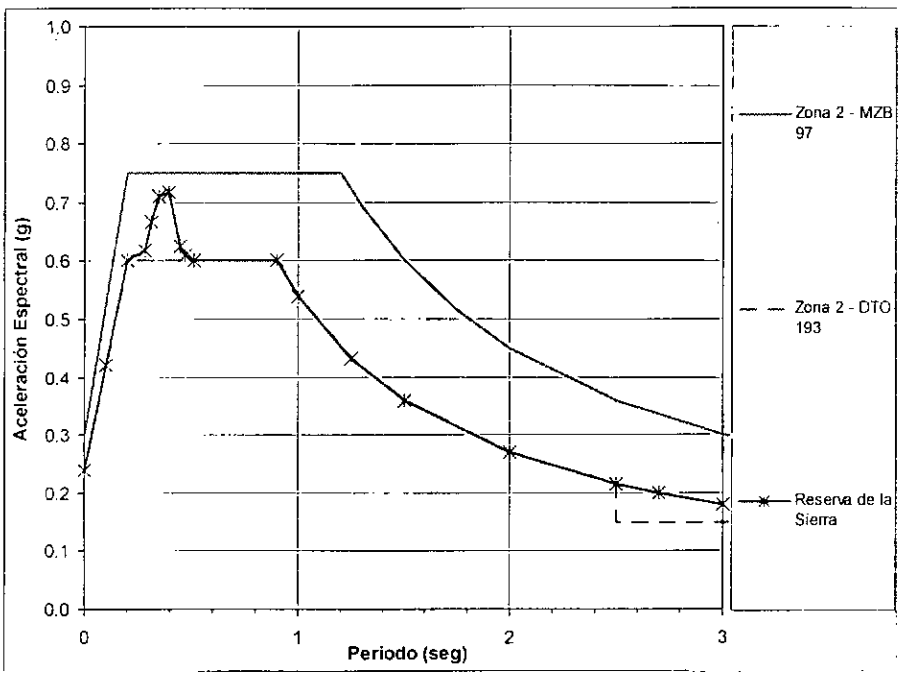



Figura 3. Espectro corregido propuesto Proyecto Reserva de la Sierra

El estudio CUMPLE con este requerimiento.

## 6 CONCLUSIONES

Como resultado de la presente revisión, se concluye que el estudio de respuesta local de amplificación de ondas sísmicas del proyecto en referencia, cumple con los requerimientos mínimos consignados en el Decreto 193 de 2006.

Se debe aclarar que, el alcance del concepto técnico es la verificación de los aspectos contemplados en el Decreto 193 de 2006 con fundamento en el informe suministrado y no implica hacer un juicio de valor sobre la validez de los sondeos, ensayos, parámetros adoptados, el empleo de software, los análisis de respuesta, los resultados de los análisis y el espectro de diseño recomendado, por lo que la responsabilidad de los mismos recae en el consultor como lo refrenda con su firma en el informe del estudio, limitándose la revisión a verificar el cumplimiento del Decreto.

Elaboró **FERNANDO JAVIER DÍAZ P.**
Ingeniero Civil, MSc (c) Geotecnia
M.P. 25202-093681 CND

Revisó **DIANA PATRICIA ARÉVALO S.**
Coordinadora Grupo Estudios Técnicos

Aprobó **GUILLERMO ÁVILA ÁLVAREZ**
Subdirector Investigación y Desarrollo

Vo.Bo. **DIANA MARCELA RUBIANO VARGAS**
Directora