

ASENTAMIENTOS TOTALES Y DIFERENCIALES EN BOGOTÁ – RECUPERACIÓN DE LA VERTICALIDAD DE EDIFICIOS

LUIS FERNANDO OROZCO

I. INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Bogotá se han presentado gran cantidad de daños en edificaciones, tanto durante el proceso de construcción como durante su vida útil. Estos daños incluyen grietas, desplomes y aún colapsos de edificaciones con la consecuente pérdida económica para sus propietarios, para los constructores y en algunos casos también para los diseñadores.

Muchos de estos problemas, si no la gran mayoría, están relacionados con una predicción pobre del comportamiento del suelo o de la estructura en contacto con el suelo o soportada por éste. De manera general, los daños relacionados con el comportamiento del suelo incluyen principalmente los siguientes (Cuadro No. 1):

1. Asentamientos excesivos, diferenciales y totales, debidos a la presencia de suelos blandos (peso excesivo o pobre cimentación) o a desecación diferencial.

También se presentan asentamientos totales y diferenciales altos al cimentar sobre rellenos antrópicos de pobres característica. Estos ocurren generalmente en la zona blanda de la ciudad o en sitios rellenos en forma incontrolada.

2. Movimientos diferenciales por expansión de arcillas. Se presentan en el sur occidente y en el sur de la ciudad como por ejemplo en el barrio Castilla o en Soacha.
3. Fenómenos de reptación y deslizamiento (fenómenos de remoción en masa). Estos ocurren en las laderas periféricas a la Sabana, pero principalmente al oriente y suroriente de la ciudad.
4. Fallas de taludes por excavaciones profundas con los consecuentes daños a vecinos. Inicialmente ocurrían en las laderas al norte de la ciudad por las excavaciones de varios niveles de parqueo y recientemente por la construcción de sótanos profundos en la zona blanda.
5. Daños por movimientos debidos a sismos y por licuefacción de arenas durante estos eventos. Por el movimiento pueden ocurrir daños en cualquier sitio de la ciudad pero principalmente en piedemontes y taludes. Hay evidencias de

licuación en el valle del Tunjuelo, pero igualmente puede ocurrir en las cercanías al río Bogotá y al río Fucha. (1)

II. ASENTAMIENTOS EXCESIVOS

En esta conferencia hablaré sobre el primero de estos temas: Los asentamientos totales y diferenciales altos que se presentan en zonas de suelo blando y que pueden ser causados por la utilización de cimentaciones deficientes para un peso excesivo en áreas en donde los suelos son muy compresibles.

De acuerdo con la norma NSR-98 (2) los límites tolerables para asentamientos totales (numeral H.4.1.9.2) tienen un valor de 30 cm para construcciones aisladas siempre y cuando no se afecten las conexiones y de 15 cm para construcciones medianeras siempre que no se afecten las vecinas. Sin embargo, cabe preguntarse en qué casos no se afecta una construcción, estable y más liviana, con un asentamiento de una edificación vecina nueva que sobre pasa de 4 ó 5 cm.

Los asentamientos diferenciales permitidos por la norma confirman que los asentamientos totales para una edificación nueva medianera deben ser mucho más pequeños, a fin de no inducir diferenciales mayores a los permitidos en los

vecinos (Cuadro No. 2). Los asentamientos diferenciales permitidos por la Norma son:

Tabla H.4.1

Valores máximos de asentamientos calculados, expresados en función de la distancia entre apoyos o columnas, L.

| TIPO DE CONSTRUCCIÓN | Δ , Máx. |
|--|-----------------|
| a. Edificaciones con muros y acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores. | L/1000 |
| b. Edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería. | L/500 |
| c. Edificaciones con pórticos en concreto sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores | L/300 |
| d. Edificaciones en estructura metálica sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores. | L/160 |

Además la Norma establece un límite de giro de tal forma que no se produzcan defectos estéticos y funcionales y que en ningún caso puede sobre pasar de L/250.

La zona de Bogotá en donde se presentan los asentamientos totales y diferenciales altos, ya sean estos causados por peso excesivo y cimentación deficiente o por desecación diferencial, es la zona de arcilla blanda, localizada según muestra el mapa de Zonificación Geotécnica de Santafé de Bogotá (3) del proyecto de

Microzonificación Sísmica de la ciudad, ejecutado por Ingeominas y la Universidad de los Andes (ver mapa, figura No. 1, arcilla blanda en gris y rondas de ríos y humedales en azul).

Presento también un plano de la ciudad con una indicación de sitios en donde se han presentado problemas por asentamientos excesivos. Cabe anotar aquí que los daños son abundantes y estos son solamente los conocidos por mí. No me cabe duda de que los otros Ingenieros pueden aportar muchos más puntos a este plano. Además se ve claramente la coincidencia de daños con la zona gris del mapa de zonificación geotécnica, con algunas excepciones como la de la Alhambra en donde los suelos son mejores o zonas en donde el desarrollo ha sido de edificaciones livianas.

Los suelos blandos son arcillas de origen lacustre depositadas durante los últimos 100.000 años en la zona demarcada con color gris en el mapa. Según el proyecto de microzonificación mencionado estos suelos poseen espesores típicos en la ciudad entre 200 y 300 m y alcanzan profundidades de 600 m o más al occidente del Río Bogotá. Son suelos difíciles de manejar que poseen, en los primeros 50.0 m del perfil, las siguientes propiedades típicas (4):

- Humedades Naturales $50 < W_n < 200\%$
- Límites líquidos (figura 2.9,
Microzonificación) $50 < LL < 200\%$
- Clasificación típica CH – MH
- Contenido de materia
orgánica. $4 < M.O < 20\%$
- Peso Unitario $\gamma \sim 1.4 \text{ T/m}^3$.

Además estos materiales poseen una compresibilidad alta y una relación de sobreconsolidación baja. En algunos casos se encuentran sobreconsolidados y en otros normalmente consolidados. Los suelos blandos están sometidos a un proceso de consolidación primaria y secundaria que los convertirá en arcillolita a la vuelta de varios millones de años. Estos procesos se deben a su propio peso y a la desecación inducida por la actividad humana.

Podríamos culpar de los asentamientos altos a los suelos blandos exclusivamente, pero por supuesto estos se deben no solo a la presencia de dichos suelos sino al uso de cimentaciones deficientes para apoyar las edificaciones. Sin embargo, no es fácil solucionar la fundación de edificaciones en materiales tan inestables como éstos y esto a pesar de que se ha avanzado bastante en el cálculo de

asentamientos (conocemos mejor los parámetros de compresibilidad) y se han establecido nuevos sistemas de cimentación (pilotes de fricción o placa-pilotes o flotación). Aún no tenemos la respuesta para la solución estable de las cimentaciones en los siguientes casos:

1. Edificios altos muy pesados (de más de 20 pisos o con condiciones estructurales especiales).
2. En el caso de edificios pesados soportados con pilotes de fricción, ¿se podría presentar una disminución en la resistencia por fricción de la arcilla durante un sismo fuerte? (licuación de las arcillas o strength softening)
3. En el caso del manejo de aguas subterráneas, al construir sótanos, ¿cómo y a qué rata se causan asentamientos de los vecinos y a hasta qué distancia?.
4. ¿Cómo manejar el problema en zonas de desecación excesiva, donde el fenómeno se manifiesta de manera diferencial en la superficie (sin arbolitos!)?
5. Cuándo se presentará un asentamiento excesivo por desecación?

Con estas y otras incógnitas que se puedan ocurrir a los presentes, continuamos con un recuento de algunos casos bien conocidos en la ciudad.

III. RECUENTO DE CASOS

Antes de 1980 se tenía el mito en la ciudad de que los pilotes flotantes o de fricción no funcionarían en los suelos blandos y se pensaba que estos se hundirían por su propio peso. Había incluso una experiencia en la zona lago en donde un pilote de 60 cm de diámetro a 15.0 m fundido un día, había descendido al día siguiente. Las cimentaciones en la zona blanda tenían que ser de tipo compensado, flotante o semiflotante para cargas altas, de lo contrario sería imposible cimentar las edificaciones más pesadas.

1. El dilema de PABLO VI. Foto 1 derechos, (foto 2 torcidos)

En 1968 aproximadamente era necesario construir los edificio de cinco pisos a nivel de Pablo VI. Puesto que estos edificios estaban en una zona de arcillas blandas se requería una cimentación con placa corrida capaz de repartir en los ensayos de laboratorio, que el suelo se encontraba normalmente consolidado a partir de los 3.4 m de profundidad, se encontró que estos ascendían a valores cercanos a 60 cm, valor que resultaba inadmisibile.

Se muestra el cálculo, cuadro No. 3, suponiendo un suelo normalmente consolidado a partir normalmente consolidado a partir de los 3.5 m de profundidad, es decir bajo la costra de arcillas oxidadas y un cálculo suponiendo que el suelo se encuentra sobre consolidado en toda la profundidad (así su relación de sobre consolidación sea baja es claro que con el incremento de esfuerzos esta no se sobre pasa). Se obtienen valores de 65.2 cm para el asentamiento del edificio sobre suelo normalmente consolidado y de 19.1 cm para el suelo sobre consolidado. Este último valor es un poco alto en comparación con lo que realmente ocurrió.

El Ingeniero de Suelos investigó en esa época la posibilidad de dar flotación a los edificios pero no era posible, ni se quería, construir un sótano. Entonces sugirió el uso de escoria (ceniza?) con una densidad de 1.0 T/m³ , para remplazar suelo en 2.0 ó 3.0 m de altura pero esto tampoco fue aceptado por lo que en el estudio de suelos aceptó asentamientos muy altos, que nunca ocurrieron.

El Ingeniero de Suelos se vió obligado a aceptar asentamientos muy altos, que nunca ocurrieron.

Citar estudio " ".

Los asentamientos fueron inferiores, y aún cuando no hay un record del valor, en una visita al sitio podemos ver que este está comprendido entre 5 y 20 cm.

Sin embargo, el funcionario no ha sido el más adecuado pues los edificios son aledaños a extensas zonas verdes arborizadas que han sufrido una desecación intensa (inesperada en los años 70) y por lo tanto mucho de estos han perdido su verticalidad mostrando inclinación hacia las zonas verdes. (Ver foto)

2. Los asentamientos de Centro 93.

La pérdida de la verticalidad se debe en algunos casos a factores externos (desecación diferencial), en otros a pobre cimentación. Es el caso de los edificios del Centro 93.

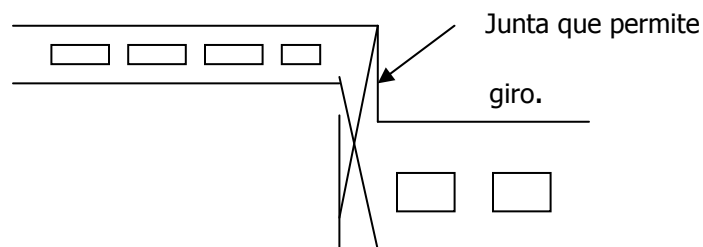
Estos edificios construidos en el año 77, fueron planeados inicialmente como dos torres de 18 pisos y extensas áreas de plataforma para comercio. Puesto que en la época se pensaba que los pilotes de fricción no podrían soportar el peso de las torres se planteó un sistema flotante que para 18 pisos requería excavaciones con profundidades entre 10 y 15 metros (dependiendo de los sobreachos de fundación)

para lograr flotación completa. La idea de dar flotación a estas torres se llevó hasta la construcción de un caisson para observar el comportamiento de estos suelos a profundidades entre 10 a 15 m y planear el sistema de excavación, pero este falló de profundidad. Se llenó el caisson de arcilla blanda y se creó una corona de depresión a su alrededor, según el relato de quienes participaron.

Fue necesario disminuir la altura de los edificios de 7 a 8 pisos, por lo cual estos ocupan un porcentaje mayor del área del lote y darles flotación con excavaciones a 5.5 (?) metros de profundidad. La plataforma más liviana, en dos pisos y sótano, cuenta con una placa apoyada a 3.5 m de profundidad dada la baja consistencia de las arcillas.

Foto y corte de la cimentación de los edificios.

FIGURA No. 4



Fue necesario unir las dos cimentaciones ya que las torres y plataforma se encuentran íntimamente ligadas en la zona comercial. Los edificios además están totalmente flotados, si a pesar de lo cual se presentan asentamientos que resultan diferenciales debido a que la cimentación de plataformas es más amplia hacia el noroccidente del proyecto y por lo tanto soporta las torres pre esta costado aún cuando la unión de los edificios con plataformas permite el giro.

(Figura No. 5 cuadro de asentamientos al año)

En esta figura de curvas de igual a asentamiento se puede observar claramente el mayor asentamiento hacia uno de los costados de cada bloque: el de apartamentos hacia el oriente y el de oficinas hacia el suroriente.

La excentricidad en este caso se la da al edificio el apoyo en la plataforma. Es importante aclarar aquí que casos como esta hay muchos en Bogotá, ya que se presta gran atención en centrar el edificio (centro de placa y centro de cargas de torre), pero no suficiente a factores externos que le dan apoyo como muros de contención plataformas, estructuras vecinas, tanques de agua, etc, que resultan en el descentre del conjunto. Igualmente es importante el centro de la excavación

pués el rebote es mayor en su zona central y menor hacia los brodes y este rebote se recupera con el peso de la edificación tornándose en asentamientos.

3. LAGO CENTRO (BANCO DE AMERICA LATINA)

Este edificio presentaba un problema de excentricidad que seguramente hubiera resultado en su inclinación y que fue agravado repentinamente por una excavación mal llevada en el lote vecino hacia el norte. El edificio de cico