

6 Conclusiones y Recomendaciones

Los estudios se basaron en investigaciones geofísicas, geológicas y geotécnicas, con pruebas in situ (STP). Sobre las muestras extraídas de los sondeos se efectuaron pruebas de laboratorio, y los resultados de todas estas investigaciones fueron relacionados determinando algunas características físicas y mecánicas del subsuelo.

6.1 Conclusiones

Según la respuesta magnética del subsuelo, el sitio se puede dividir en tres zonas limitadas por la curva de 3700 nT. Esta curva límite se ha escogido tomando el antecedente de la existencia de la Falla Zogaib que justo se localiza en la zona escarpada, con orientación aproximada norte-sur.

La zona de mayor elevación topográfica es la que presenta los valores magnéticos mas elevados, en esta zona se encuentran los materiales más densos.(Ver figura 3.4.)

El área central de la zona presenta los valores magnéticos mas bajos, inferior a los 37400nT. Se considera que corresponde a un material suelto, depositado de la erosión del talud o de la zona escarpada.(Ver figura 3.4)

La zona de menor elevación topográfica presenta valores magnéticos medios, en el rango 37000 – 37400 nT.(Ver figura 3.4.)

No hay duda que el método de resistividad usado en esta investigación constituye un instrumento muy útil para definir estructuras geológicas. Los resultados de este estudio son muy buenos y se correlacionan perfectamente con las anomalías magnéticas encontradas en el área. Estos métodos son recomendados como técnicas básicas para exploración de fallas, fracturas, pliegues y cualquier otro tipo de estructura geológica.

Según las respuestas resistivas del subsuelo, observadas en las capas por profundidad el área se puede dividir de la siguiente manera(Ver figura 3.8):

Los materiales de 0.0 a 1.20m tienen resistividades que están en un rango de 15 a 179 Ω m, que corresponden a suelo tipo arcilla arenosa, arena arcillosa o arena limpia, arena limosa.

Los materiales que se localizan entre 1.20m y 3.70m de profundidad, tiene resistividades que están en el rango de 179 a 256 Ω m, que corresponden a suelo tipo arena limpia o grava limpia.

El suelo localizado entre 3.70m hasta 10m de profundidad (profundidad alcanzada con las perforaciones). Presenta resistividades que están en el rango de 256 a 1056 Ω m, estas resistividades corresponden a suelos tipo roca meteorizada y roca sana.

Se puede observar en los perfiles eléctricos, una tendencia de fractura en materiales con resistividades menores que $140 \Omega m$ interrumpiendo verticalmente los estratos que se interpreta como un patrón de falla en la región estudiada. La localización de este patrón de anomalía del campo eléctrico de falla coincide con los resultados magnéticos obtenidos, así como la presencia de la falla Zogaib referida en el mapa de fallas elaborado por INETER, así como con la geología de la zona de estudio.

En principio y en condiciones de ausencia de esfuerzos tectónicos, los estratos situados en la colina deberían estar continuos en toda su extensión, sin embargo, entre los 45 y 55 metros a partir del inicio de cada perfil, son interrumpidos verticalmente, por material cuyas resistividades es menor a $190 \Omega m$. Esta interrupción, se interpreta como debida a la Falla Zogaib que atraviesa aproximadamente en dirección norte-sur el área. La falla zogaib posiblemente está localizada en las coordenadas (579055,1338839) y (579080, 1338599).

No se detectó la presencia del nivel freático, a la profundidad de análisis en la prueba eléctrica.

Según las resistividades los materiales encontrados en la zona son no corrosivos.

Los métodos geofísicos mostraron ser de utilidad en exploraciones del subsuelo, pues se logra con ellos mejor programación de la ubicación y profundidad de los sondeos, en vista que permiten conocer de forma aproximada la estratigrafía, ubicación del nivel freático y las estructuras geológicas del sitio.

La zonificación del terreno, objeto del presente estudio, ha sido el resultado de correlacionar los levantamientos geológicos con el magnético y el eléctrico. La trinchera exploratoria fue ubicada, en correlación con los resultados geofísicos. La correlación de la geología documentada en las trincheras y las anomalías geofísicas sirvió para extrapolar la interpretación de todo el terreno y poder realizar la zonificación del mismo, lógicamente basados en las observaciones e interpretaciones geológicas de campo, principalmente.

La zonificación del terreno se dividió en tres zonas (ver figura a.13):

Zona 1 buena: Los estratos se encuentran sin deformación por efecto de fallas activas, relativamente, sin dobladuras y plegamientos. No hay rupturas tectónicas en los estratos observados en la trinchera. No hay desplazamientos horizontales en los estratos de las Formaciones El Retiro y San Judas, que sirven como estratos guías para la detección de Fallamiento Superficial para esta zona específica.

Zona 6: Es una zona de alto riesgo sísmico, se localiza en el borde oeste del terreno en estudio y se comprobó mediante los resultados de las pruebas magnética y eléctrica, los cuales presentaron valores anómalos con respecto al

resto del área. La localización de este comportamiento anómalo coincide con la falla trazada en el mapa de fallas de Managua publicado por INETER (2002).

El uso del terreno queda limitado a la construcción de obras estructurales tales como mercados abiertos, residencias familiares, edificios industriales, edificios para parqueos, talleres y bodegas habitadas, usando el “Estándar A” del Código de la Construcción; y para bodegas no habitadas, cobertizos para animales, cobertizos para parqueo, casas de paneles livianos y de madera, estructuras especiales de techo y paredes livianas para habitaciones no permanentes, etc. Usando el “Estándar B” del Código de la Construcción.

Zona 2: Zona de seguridad localizada contiguo a la zona 6, se establece por si el alto riesgo se amplifica o extiende. El terreno es como la zona 1, donde no se presenta ningún riesgo de falla superficial y tiene un margen de 25 m a ambos lados de la zona 6.

Zona Indefinida: Se aplica a los terrenos adyacentes circundantes al terreno a los que no alcanzó este estudio geológico de riesgo sísmico.

No se encontró evidencias de falla en la trinchera exploratoria, el estrato de referencia no muestra ruptura ni indicios de fallamiento.

Según la geología, en la trinchera exploratoria se encontraron ocho tipos de suelos los cuales se muestran en la tabla a.8.

El estudio geológico fue de gran utilidad para la geotecnia, este permitió conocer los diferentes tipos de suelos y evaluar de forma cualitativa las características dinámicas del suelo, teniendo en cuenta estas consideraciones se logró una mejor programación en la distribución y densidad de sondeos.

Superficialmente predominan suelos del tipo SC, con características no apropiadas para utilizarse con fines estructurales.

La estratigrafía del subsuelo del sitio presenta uniformidad, ya que se identificaron las mismas capas de suelo en los sondeos.

Los primeros 100cm. que cubren la superficie del sitio se considera como material vegetal.

Los tipos de suelos predominantes clasifican como SM – SP, se debe tener en cuenta que los suelos areno-limosos son muy sensibles a las vibraciones, estas aumentan su densificación, lo que puede provocar asentamientos importantes.

Los suelos del sitio se caracterizan por presentar compacidades de media a densa, en general se obtienen densidades adecuadas para cimentación a partir del nivel 187.8 m, con valores de N_{campo} iguales o mayores a 27, tendiendo a aumentar con la

profundidad, según estas compacidades se puede utilizar cimientos del tipo zapata aislada.

En los sondeos, no se detectó contenidos de humedad que indicaran la presencia del nivel freático.

Según los límites de consistencia el potencial de expansión o cambio volumétrico varía de bajo a medio. El índice de plasticidad oscila de 4 a 18%, solo se encuentran valores altos en los tres primeros estratos.

Las características de los suelos de la zona presentan susceptibilidad baja a producir licuefacción.

En el sondeo Prs-2 en el nivel 186.35, terminando en el nivel 184.23, la cuchara avanzó con el peso del martillo sin aplicar percusión.

La capacidad soporte del subsuelo y nivel de desplante de los cimientos de la estructura se determinaron en base a resultados puntuales, y apoyados en las pruebas geofísicas.

2 Recomendaciones

Se sugiere utilizar los métodos geofísicos en proyecto de cimentaciones como estudios previos, pues se logra una mejor programación de la ubicación y profundidad de los sondeos.

Se sugiere ubicar la estructura en la zona 1, según las recomendaciones de la guía técnica para la elaboración de estudios geológicos por fallamiento superficial y obtención del aval correspondiente en la ciudad de Managua y sus alrededores emitida por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER).

Se recomienda realizar estudio para conocer los periodos dominantes en el sitio teniendo en cuenta la presencia de la falla Zogaib, analizar los valores de PGA y caracterizar el comportamiento dinámico del suelo.

Ampliar las investigaciones geológicas en la parte Oeste del sitio en estudio, con el objetivo de detectar el desplazamiento de la Falla Zogaib en esta zona ya que en este estudio no se encontró ninguna ruptura en los estratos.

El estudio geotécnico es válido para la zona que se localiza al este del escarpe (del pie de la colina hasta el cauce), sitio donde se realizaron los sondeos, ver figura 5.1.

La carga transmitida por la nueva estructura y los procesos constructivos no deben afectar estructuras vecinas, o perturbar el medio en el cual quedan emplazadas.

Trabajos previos

Se sugiere realizar los siguientes trabajos:

Descapote y limpieza

Se deberá retirar la materia vegetal, incluyendo raíces, basura, escombros, y colocar fuera del sitio para evitar contaminar los materiales a utilizar en la obra.

Cortes y/o rellenos

De acuerdo a la geomorfología de la zona se prevé que se realizaran cortes o rellenos.

Los suelos tipo SC deberán retirarse del sitio y utilizarse únicamente para cubrir los taludes. No deberán utilizarse en la construcción de las terrazas destinadas a las estructuras del estadio. Este material no deberá entrar en contacto directo con los cimientos.

Finalizada la etapa de terracería se sugiere realizar prospecciones al momento de emplazar la obra para comprobar los valores de N, si los valores de N son menores

que los utilizados para el cálculo de carga admisible en este documento, se sugiere consultar a un ingeniero geotécnico.

Se sugiere comprobar que los niveles de terracería no sean inferiores a los explorados con el SPT y que estos se encuentren dentro de la profundidad de influencia de los sondeos, en caso contrario se recomienda realizar nuevas perforaciones con el SPT.

Se sugiere que los cortes no afecten o alteren el pie del talud formado por el escarpe, pues esto provocaría inestabilidad en el mismo.

Estabilidad de excavaciones

Según las compacidades observadas es posible que al excavar, hasta la profundidad de desplante sugerida en este reporte, las paredes del sub-suelo experimenten inestabilidad por lo que se sugiere soportes laterales para estabilizarlas, cuyo diseño debe considerar las presiones laterales y el sobre peso por la maquinaria y el proceso constructivo. El soporte debe de diseñarse con un factor de seguridad 1.2.

Cimentaciones

Se puede cimentar la obra utilizando zapatas aisladas de concreto reforzado. Al utilizar este tipo de cimiento se sugiere utilizar los valores de carga admisible propuestos en la tabla a.4.

Se sugiere utilizar procesos constructivos que no afecten las condiciones naturales del suelo, es decir evitar alterar de forma negativa la compacidad natural del subsuelo.

En caso que se desee emplazar los cimientos a un nivel superior, se puede hacer utilizando material de relleno. Se excava hasta el nivel indicado en la tabla a.7, se prepara la superficie limpiando y compactando, posteriormente colocar el material de relleno hasta el nivel donde serán emplazados los cimientos, y se sugiere utilizar los valores de carga admisible propuesta en la tabla a.7.

Se recomienda usar sobre-ancho de la excavación y relleno, la excavación y relleno debe exceder a cada lado del cimiento según la tabla a.7, y teniendo en cuenta que el material de relleno debe ser compactado en capas de 15cm y a una densidad máxima del 100% según el método proctor estándar.

Concluida la etapa de diseño estructural, se sugiere hacer prueba de placa de carga o similares que permitan determinar los asentamientos provocados por las cargas de la estructura.

Material de relleno

Como material de relleno se sugiere usar material que se clasifique como, según el método H.R.B, A-2-4(0). Este debe de estar libre de materia vegetal y partículas suaves. Se sugiere que este material se coloque en capas de 15cm y se compacte al 100% de su densidad máxima por el método proctor estándar.

También puede usarse una mezcla de suelo y cal, usando el material proveniente de las excavaciones del tipo arena limosa, el material a estabilizar debe ser controlado y supervisado, se debe utilizar el material cuyo porcentaje de fino que pasa el tamiz # 200 sea menos del 95% y el límite líquido sea menor al 35% índice de Plasticidad sea mayor o igual a 10, se sugiere realizar prueba de laboratorio a los materiales a ser utilizados con el fin de determinar la proporción óptima según la capacidad de carga que se desea alcanzar.

Taludes, drenaje y erosión

Se sugiere no dejar taludes con pendientes superiores a 25°, debido a que los suelos arenosos con pendientes superiores pueden ser inestables en circunstancias de cargas dinámicas.

Se sugiere realizar un estudio de estabilidad de taludes. Se recomienda aplicar la prueba de penetración para conocer los parámetros resistentes del subsuelo (cohesión y ángulo de fricción). Se deberán realizar nueve sondeos en el área delimitada por las coordenadas UTM(579020, 578860)Este y (138850,138550) Norte dicho sondeos serán ubicado como un sistema de cuadrícula.

Se sugiere que los sondeos ubicados en la parte alta del escarpe tengan una profundidad mínima 55m y los ubicados en sitios mas bajos se recomienda que su profundidad llegue 15m por debajo del pie del talud , el análisis de estabilidad se recomienda realizarlo por métodos basados en elementos finitos, pues este método considera al terreno con comportamiento elasto-plástico, con este método se determinan factores de seguridad frente a rotura y realiza el análisis de forma que en todo momento anterior a la rotura se conocen la distribución de tensiones y de deformaciones en el talud.

Se recomienda conocer las alteraciones a la geometría del talud y sobrecargas, se sugiere para el análisis de estabilidad de taludes extraer muestras del tipo inalteradas utilizando muestreadores de tubo shelby, además determinar la resistencia al corte de estas muestras usando los ensayos de corte directo o pruebas triaxiales.

Se recomienda proveer a la obra de un sistema eficiente de drenaje superficial que permita la recolección y evacuación de las aguas superficiales, drenándolas eficientemente hacia una red de drenaje.

Proteger de la infiltración los niveles donde se emplazaran los cimientos de lo contrario se puede provocar un deterioro en la capacidad de carga del suelo, se sugiere que si la superficie alrededor del terreno no será pavimentada su pendiente no debe ser menor a al 8% para evitar que las aguas se infiltren en estos niveles.

Concluida la etapa de cortes y rellenos, se sugiere realizar la prueba de infiltración mediante el método del infiltrómetro de doble anillo de acuerdo a la designación ASTM D3385, para tener conocimiento de la permeabilidad de los suelos del sitio.

Proteger el talud contra la erosión usando vegetación (grama) o geotela y dejar la regeneración natural del bosque. Debido a la pendiente que genera escorrentía de gran arrastre y los materiales superficiales del sitio son susceptibles a la erosión por su baja plasticidad.

No colocar cargas sobre el talud ni alterar su geometría sin haber realizado el estudio para analizar la estabilidad del mismo.

Proteger de la infiltración excesiva la parte superior, zonas cóncavas y Horizontales del cerro, ya sea con geotela o construir un sistema de drenaje.

Asesoría geotécnica

Se sugiere una asesoría permanente durante la construcción y emplazamiento de los cimientos para complementar, aclarar y hacer ajustes a las recomendaciones previstas en este documento.

Se sugiere que un ingeniero geotécnico supervise y evalúe cada excavación y ajuste las recomendaciones según las condiciones de cada punto. Además se recomienda asesoría geotécnica permanente en la etapa de terracería (cortes y rellenos).

Se sugiere también un control de calidad sistemático de la metodología constructiva y de los materiales a utilizarse en todo el proyecto, apoyado en resultados de pruebas de laboratorio.

7 Limitaciones

Los sondeos fueron ejecutados en la zona baja que se localiza al este del escarpe (del pie de la colina hasta el cauce), por lo cual si la estructura se sitúa en la parte oeste de esta zona, sería necesario ejecutar perforaciones en esa área.

Las perforaciones fueron profundizadas no tomando en consideración la carga de la estructura, ya que no se contaba en su momento con el diseño estructural de la obra.