

**INFORME GEOESTRUCTURAL
SOBRE LOS SUMIDEROS
DEL PROYECTO ALTOS DE FLORIDA II
(Carr. PR-629, Km. 0.8)
BARRIO FLORIDA ADENTRO
FLORIDA, PUERTO RICO**

I. INTRODUCCION

Applied Development, Inc., es el dueño de un proyecto de urbanización de unas 162 unidades de viviendas de interés social conocido como Altos de Florida II. Dicho proyecto estará ubicado en un predio de terreno de 26.6978 cuerdas, en el Sector La Maldonado, en el Bo. Florida Adentro de Florida, Puerto Rico. Como parte del proceso de análisis ambiental del proyecto han surgido unas interrogantes relacionadas con la existencia de unos sumideros en el área general del predio para el proyecto. Específicamente, sobre la estabilidad geoestructural de estos sumideros y terreno circundante, su uso y capacidad de éstos para la disposición del agua de escorrentía, la protección de los mismos, etc.

A Petición de Golden Environmental Corp. y su Presidente, Biól. Daniel Galán, llevé a cabo el análisis de varios documentos oficiales sometidos a diferentes agencias como parte del proceso de consulta, con el propósito de brindarle una opinión profesional en relación con los sumideros localizados en el área general del proyecto; uno (1) dentro del predio y otros tres (3) a las afueras del mismo.

Resumen del Resultado: Luego de un exhaustivo análisis, y cuyos resultados presentamos a continuación, es mi opinión profesional; que el área general del proyecto cuenta con una estabilidad geo-estructural satisfactoria y que los sumideros del lugar tienen suficiente capacidad de infiltración para

recibir el incremento (o excedente) de la escorrentía generada por el proyecto, de manera segura, sin presentar algún tipo de factor limitante u obstrucción física, y en cumplimiento con las leyes y reglamentos aplicables.

Se está proponiendo descargar el excedente de la escorrentía que generará el proyecto Alturas de Florida II, estimada en **103.48 pcs**, en los sumideros #1, #2 y # 4 del lugar. Según los resultados de las pruebas de percolación llevadas a cabo, estos tres (3) sumideros tienen una capacidad de percolación (combinada) de **150.75 pcs**. Actualmente el sumidero #1 recibe un caudal de escorrentía de la Urb. Altos de Florida I, de **35.8 pcs**. Es decir, que con el desarrollo del proyecto Altos de Florida II, la capacidad de infiltración comprometida de los tres (3) sumideros sería de **139.28 pcs**. Por lo tanto, los sumideros #1, #2 y #3 cuentan con suficiente capacidad de infiltración para recibir la descarga de diseño del proyecto Altos de Florida II (**103.48 pcs**), y la descarga actual de la Urb. Altos de Florida I (**35.8 pcs**), quedando aún disponible un balance real de capacidad "libre", de infiltración, sin usar de **11.47 pcs (150.75 pcs – 139.28 pcs)**.

II. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

En los documentos oficiales sometidos como parte de la consulta (DIA-P y otros) y del proceso de análisis ambiental, se incluyó amplia información en relación a los sumideros del lugar. No obstante, y como aún persiste alguna duda sobre estos particulares, nos hemos dado a la tarea de aclarar conceptos y de contestar satisfactoriamente algunas interrogantes que aún persisten en relación al uso, funcionabilidad, estabilidad, capacidad, protección y otros, etc., de los sumideros del lugar propuestos para recibir el excedente de las descargas de escorrentías del proyecto Altos de Florida II. Para cumplir con esta tarea, hemos hecho uso libre de las siguientes fuentes de información:

1. Declaración de Impacto Ambiental Preliminar (DIA-P) Caso Núm: 2000-81-0730-JPU-ISV Extensión de Altos de Florida I (conocerá como Altos de Florida II) Sector La Maldonado, Bo. Florida Adentro Florida, P.R. Octubre 1 de 2005.
2. Evaluación Geológica de Sumideros en una Propiedad de Applied Development, Inc. Donde Ubicará la Urbanización Altos de Florida II, Caso Núm. DN-02-1554-JP, por Geoworks, Inc., en junio 2004.
3. Subsoil Explorations and Geotechnical Engineering Report for Evaluation of Sinkhole Features at Proposed Altos de Florida II Residential Development, Florida Adentro Ward, Florida, Puerto Rico, por Geotechnical and Engineering Services, PSC (GES), julio 2 de 2004.
4. Vázquez-Iñigo Leovigildo, 1988, Problemas de Sumideros, Departamento de Recursos Naturales, Area de Operaciones (febrero 1988), Guía Práctica para la Identificación, Protección, Limpieza y Rehabilitación de Sumideros.
5. Estudio de foto aérea del lugar del proyecto, mostrando los sumideros en el área general.
6. Estudio de la sección del cuadrángulo donde ubica el proyecto a una escala original de 1:20,000
7. Examen del plano de mensura y conceptual del proyecto, con la ubicación de los sumideros, sistema pluvial, etc.
8. Cómputos de las áreas contributivas y volúmenes a la esorrentía del proyecto, sin el desarrollo y con el desarrollo del mismo.

III. SOBRE SUMIDEROS - GENERAL

El informe de Geoworks de junio de 2004 "Evaluación Geológica de Sumideros en una Propiedad de Applied Development, Inc....", trata en detalle sobre la geología del lugar, características y propiedades de los sumideros, etc., *que no es necesario repetir aquí*. No obstante, y en vista de que aún persiste alguna confusión en relación a los sumideros y su función, creemos pertinente añadir la siguiente reseña informativa.

Monroe¹ define el término *sumideros* como: *A... depresiones cerradas, especialmente en la roca caliza, con hoyos tragantes (swallow holes), cuevas verticales y dolinas.*

¹ Monroe, Watson H., 1976, The Kartz Landforms of Puerto Rico: U. S. Geological Survey, Professional Paper 899, (Págs. 8, y 48-50).

Por otro lado, el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales define un **sumidero activo**² como: A... una depresión circular u obloide, típica de las áreas calizas, con uno o más **ojos** (aperturas) en su fondo o a un extremo por los cuales infiltra al subsuelo el exceso del agua de escorrentía que alimenta los depósitos de aguas subterráneas. **Son las *aventanas de los acuíferos subterráneos***.

De acuerdo con el Artículo III (d) de la Ley Núm. 292 del 21 de agosto de 1999, Ley para la Protección y Conservación de la Fisiografía Cárstica de Puerto Rico, la siguiente definición: **Sumidero** - **Conducto o canal natural en el terreno por donde se sumergen las aguas.**

De lo anterior es evidente que para que haya un **sumidero activo** en el terreno, el área tiene que estar formada por roca caliza, que debe haber una depresión del terreno y sobre todo, una apertura natural, hueca u ojo tragante por donde penetre y se pierda el agua de escorrentía bajo la superficie del terreno. **En el presente caso, los sumideros identificados en el área general del proyecto, son “sumideros activos”.**

III.a. Manejo y/o Protección de los Sumideros

Una vez se identifica un sumidero activo (o sumideros) que pueda haber dentro de un predio de terreno (o en las cercanías) en el cual se propone el desarrollo de obras de construcción, durante la etapa de diseño del proyecto, y en coordinación con los especialistas en geotecnia, se debe definir claramente las características de los mismos y se debe diseñar las obras pertinentes para su conservación y su protección de la sedimentación y de la posible contaminación por las escorrentías (y

². Vázquez-Iñigo Leovigildo, 1988, Problemas de Sumideros, Departamento de Recursos Naturales, Área de Operaciones (febrero 1988), Guía Práctica para la Identificación, Protección, Limpieza y Rehabilitación de Sumideros.

arrastre) generadas por el proyecto; *en especial, si el mismo (o los mismos) se usarán para la inyección de las escorrentías pluviales.*

III.b. Estabilidad de los Sumideros

La presencia de sumideros activos por lo regular no presenta problemas de estabilidad del terreno, siempre y cuando estos no se rellenen artificialmente *con el propósito de maximizar el aprovechamiento del terreno para su desarrollo.* Como regla general, los sumideros se deben proteger de la sedimentación natural o artificial. Además de evitar que estos se tapen, tanto el sumidero, como su área inmediata, se debe de proteger con una franja de protección de por lo menos un mínimo de diez (10) metros de ancho en su derredor. Además, en áreas pobladas y de fácil acceso, se debe de proveer, por lo menos, una verja de alambre eslabonado de no menos de 6-pies de altura, en derredor de los sumideros, que sirva de barrera efectiva a su libre acceso.

III.c. Limpieza y Rehabilitación de Sumideros

Existe la tecnología para la rehabilitación de los sumideros mediante actividades de mayor o menor complejidad y costo, dependiendo de la magnitud del problema. Por ejemplo:

1. En muchos casos, con la limpieza del sumidero usando una excavadora tipo *Abackhoe*® o equipo pesado similar, y protegiendo el mismo de futura sedimentación con obras sencillas de ingeniería, puede lograrse la rehabilitación del mismo y asegurar su funcionamiento eficiente por años. Por lo regular se usa un muro en bloques de homigón o de gaviones alrededor del sumidero, o tubería pluvial en homigón de buen diámetro (60"Ø – 90" Ø) debidamente protegida, o una combinación de ambas.

2. En aquellos casos en los que se usa una tubería vertical, o inclinada como conducto de agua hacia el “ojo” tragante del sumidero activo, en el tope de ésta (la tubería) se le coloca una malla de alambre eslabonado o de material similar, para atrapar la hojarasca, y se le coloca una verja de alambre eslabonado en su derredor para evitar el libre acceso al mismo. O una combinación de verjado en gaviones, bloque de homigón y alambre eslabonado
3. Cuando la limpieza superficial como tal no logra restaurar la capacidad filtrante óptima del sumidero, hay que recurrir a la hincas de pozos Atragantes de 8”Ø a 16”Ø, construcción de una laguna de retención, y sistema de protección, con una combinación de verjas de alambre eslabonado, muro en gaviones y/o uso de tubos pluviales en homigón, etc.
4. En algunos casos extremos se usa una combinación de limpieza con equipo pesado y el uso de explosivos, si la roca caliza Amadre aflora sobre, o cerca de la superficie del terreno, como se hizo en la cárcel Guerrero de Aguada años atrás.

III.d. Ejemplos de Protección de Sumideros

Las fotos del sumidero #1 incluidas en la DIA-P (Págs. 15 y 16) muestran claramente las obras de protección en gaviones con las que cuenta este sumidero, así como la tubería de descarga pluvial al mismo de la Urb. Altos de Florida I. **Ver Ilustración 1.**

En el plano conceptual del proyecto se muestra la sección A-A' con las protecciones del sumidero #2, consistentes de un muro en gaviones a una distancia de 10 metros de ancho medidos desde el “ojo” tragante, y una verja para atrapar el sedimento colocada en el tope de los gaviones.

Ilustración 1. Fotos 1 y 2 sumidero #1 con gaviones

En la **Ilustración 2**, se muestra el uso de una malla de varillas de $\frac{1}{2}$ " de un enrejado de aproximadamente 4' x 4' colocada a la entrada del "ojo" tragante de un sumidero localizado frente a la Calle Neptuno de la Urb. Golden Hills en Vega Alta, Puerto Rico. Este sumidero está localizado al norte de la Calle Neptuno y al pie de un pequeño cerro calizo del lugar, y sirve de drenaje principal a la parte norte de Golden Hills.³

En la **Ilustración 3**, se muestra el tubo de entrada en homigón de 72"Ø directamente al "ojo" tragante del sumidero de la calle Saturno de la Urb. Golden Hills. La impresión que se recibe por los segmentos de tubos dispersos dentro del sumidero, es que este tubo era más largo y hasta posiblemente tenía algún elemento vertical.⁴ El sumidero de la Calle Saturno consiste de una hondonada alargada de conformación triangular o semi elipsoidal, con un frente de calle de (*aproximadamente*) 75 pies de ancho, 200 pies de largo, y 20 pies de profundidad; el área superficial del mismo es de (*aproximadamente*) 1,800 pies cuadrados.

3 Referencia: Vázquez-Iñigo Leovigildo, 2002, Evaluación Geoestructural de Sumideros en Urbanización de Golden Hills en el Barrio Espinosa de Vega Alta, Puerto Rico, noviembre 2002.

4 A la fecha de noviembre de 2002 en que se tomó la foto, la firma Gregory L. Morris & Asociados estaba recomendando la reparación del sumidero con la colocación de una tubería vertical de entrada, etc.

ILUSTRACION 2. SUMIDERO CALLE NEPTUNO

ILUSTRACION 3. SUMIDERO CALLE SATURNO CON TUBO ENTRADA

IV. ESTUDIOS GEOFISICOS, GEOTECNICOS Y GEOLOGICOS DE LOS SUMIDEROS EN EL AREA DEL PROYECTO

En el lugar del proyecto se identificaron cuatro (4) sumideros activos que se identifican con los números 1 al 4, y que se muestran en la **Ilustración 4**.

Según se indica en la DIA-P del proyecto e informes técnicos relacionados, se está proponiendo descargar la escorrentía pluvial del proyecto a los sumideros #1 (en Altos de Florida I), #2 (dentro del proyecto) y #4 (colindante al proyecto en el suroeste). **El sumidero #3** localizado fuera de los Altos de Florida I y II y que se usa actualmente en la disposición de aguas de escorrentía de la Urbanización Haciendas de Florida, **no se usará para disponer de las aguas pluviales del proyecto.** *Las pruebas de percolación realizadas (ver más adelante) revela que los sumideros #1, #2 y #4 cuentan con suficiente capacidad de infiltración para aceptar el exceso de escorrentía que generará el proyecto.*

Se presenta a continuación el resumen de los resultados y hallazgos de los distintos estudios llevados a cabo por la firma GEOWORKS, Inc., representado por el Geólogo Omar Negrón, complementado con los estudios de geotecnia llevados a cabo por la firma Geotechnical Engineering Services (GES), representado por el ingeniero Ariel Grillasca, en relación a la estabilidad geo-estructural, funcionabilidad, capacidad hidráulica y la protección de los sumideros y su entorno inmediato. Estos informes se incluyen en la DIA-P como parte de los anejos 4 y 5 de dicho documento.

IV.a. Distribución y Características de los Sumideros 5

La evaluación geológica y de geotecnia del subsuelo en el área general del predio para el proyecto muestra la presencia de por lo menos

5 Fuente: Evaluación Geológica de Sumideros en una Propiedad de Applied Development, Inc. Donde Ubicará la Urbanización Altos de Florida II, Caso Núm. DN-02-1554-JP, por Geoworks, Inc., en junio 2004.

cuatro (4) sumideros, los que se describen a continuación. **Ver Ilustración 4.**

Sumidero #1 (Vea Tabla 3 en Anejo 5 de DIA-P). Está ubicado dentro del Desarrollo de Altos de Florida I. Comprende un área aproximada de más de una cuerda (1.0394) con una profundidad aproximada de 30 pies. Sus dimensiones son de 180 pies de largo y 129 pies de ancho. Este sumidero tiene expuesto su punto de entrada (ojo tragante) al subsuelo en el área oeste. Como parte de los controles de ingeniería instalados para proteger el mismo y utilizarlo para la inyección de las aguas de escorrentía del proyecto, sus paredes fueron cubiertas con gaviones, para darle estabilidad y controlar la erosión y/o sedimentación del mismo. Esta protección está acompañada por controles de entrada de las aguas de escorrentía las cuales llegan de forma soterrada a través de tubos que desaguan dentro del área de los gaviones (Fig. 1). Finalmente, medidas de seguridad fueron instaladas alrededor para limitar su acceso peatonal. Actualmente, se observa el mismo con una vegetación extensa en el área oeste, donde las aguas entran a la cavidad. En términos de su capacidad o potencial de uso, su uso actual es para inyectar cerca de 35 pcs lo cual representa un flujo moderado dado a que antes de la construcción su área de captación era mayor. Solo por observación visual y experiencia previa, el sumidero aparenta haber manejado flujos varias veces mayor al que maneja actualmente. *De hecho, las pruebas de percolación realizadas en el mismo muestran una capacidad de infiltración de aproximadamente 107 pcs (pies cúbicos por segundo).*

Sumidero #2 (Vea Tabla 4 en Anejo 5 de DIA-P): Está ubicado dentro del predio donde ubicará Altos de Florida II. La cavidad tiene un área aproximada de 0.80 cuerdas, con dimensiones de 28 pies de largo por 24 pies de ancho. Su profundidad aproximada es de 28 a 30 pies. Su forma actual es ovalada y el mismo se encuentra rodeado de vegetación densa.

ILUSTRACION 4. PROYECTO Y SUMIDEROS DEL LUGAR

Uno de sus lados (oeste) se encuentra expuesto siendo estos suelos arcillosos, la pared expuesta se encuentran con pendientes mayores a los 80 grados, lo que contribuye a que se mantengan un colapso activo de estos suelos al fondo de la cavidad. Las demás paredes fueron recubiertas con gaviones para preservar la calidad de aguas de escorrentía que entren el sumidero. Al igual que en el caso del sumidero #1, a este sumidero se le proveerá controles de entrada de las aguas de escorrentía, sus paredes se estabilizarán con un muro en gaviones, y se protegerá el mismo con una verja de alambre eslabonado, y se establecerá una franja de seguridad de 5 metros en su derredor. La inspección visual del sumidero revela fisuras de entrada en varios lugares en el fondo.

Sumidero # 3 (Vea Tabla 5 en Anejo 5 de DIA-P): Este sumidero está localizado a las afuera del área del proyecto de Altos de Florida II, colindante al proyecto Haciendas de Florida. El mismo presenta un área circular de aproximadamente 1.5 cuerdas. Sus dimensiones son de aproximadamente 150 pies de diámetro y 20 pies de profundidad. El mismo se observa con agua en el fondo en todo momento. ***Para propósitos de Altos de Florida I & II este sumidero no se utilizará para descargas pluviales,*** pero se considera en el uso colectivo de estos para inyección al subsuelo de las aguas de escorrentía en el área de estas. Debido a que los Sumideros 1 y 4 resultaron con un potencial de infiltración significativo *no* es necesario utilizar el sumidero #3 para la disposición de aguas en la Extensión de Altos de Florida II.

El sumidero #3 fue identificado como un sumidero con controles de erosión permanentes y aunque se encuentra fuera del área del proyecto, fue evaluado por su cercanía y el uso potencial para el desarrollo propuesto. Se observó con una capacidad de infiltración lenta. Esto pudiera estar relacionado a la presencia de materiales finos en el fondo.

Definitivamente, este sumidero puede rehabilitarse mediante la limpieza de los sedimentos finos y protegerse, para aumentar su capacidad de infiltración. *Este sumidero se encuentra retirado, a las afueras del predio para el proyecto y no forma parte del proyecto, por lo que su rehabilitación es de la responsabilidad de su dueño en coordinación con el municipio de Florida y el DRNA.*

Sumidero # 4 (Vea Tabla 6 en Anejo 5 de DIA-P): El mismo se encuentra localizado fuera del área de construcción y límite de propiedad de Altos de Florida II. Sin embargo, el dueño autorizó su uso para disposición de las aguas de escorrentía de Altos de Florida II. El sumidero se encuentra ubicado al suroeste del proyecto con 1.5 cuerdas de área y dimensiones aproximadas de 37 pies de largo y 32 pies de ancho con una profundidad de 12 pies. A su alrededor se observan rocas expuestas y una presencia mínima de suelos en su entornos. El área de captación del sumidero se aprecia en las fotos aéreas como uno extenso y su necesidad para cumplir con las necesidades de disposición de Altos de Florida II. No parece que se afectará la capacidad del mismo. Se recomienda que se instalen medidas de control de erosión y sedimentación permanentes para su propio uso y conservación. Al igual que en el caso de los sumideros #1 y #2, se recomienda que a este sumidero se le provea controles de entrada de las aguas de escorrentía, que se proteja el mismo con un muro en gaviones y una verja de alambre eslabonado alrededor del mismo, y se establezca una franja de seguridad de 10 metros en su derredor.

Para proteger este sumidero de alguna contaminación indirecta por derrames de aceites, el proponente colocará en el sistema de drenaje hacia éste, trampas de aceites y grasas. Este sistema consiste de un canal de cemento y grava trapezoidal para disminuir la velocidad de las aguas de escorrentía, además de unas franjas de grama intercaladas en los primeros diez metros del mismo para retener los residuos de las grasas y aceites y de esta forma

filtrar el agua, que será dirigida a los sumideros (ver Figura 12 de la DIA-P: Sistema de Trampas de Aceites y Grasas). ***El proponente hará las gestiones correspondientes con el municipio para darle mantenimiento al mismo y evitar que se acumule basura en éste.***

IV.b. Líneas Geofísicas

Se realizó un estudio de resistividad eléctrica a lo largo de los sumideros, por parte de la firma de geotecnia Geotechnical and Engineering Services, PSC (GES) y se incluyó los resultados y recomendaciones en el informe de julio 2 de 2004, y que se hizo formar parte de la DIA-P. Esta clase de estudio sirve el propósito de identificar aquellas áreas de alta y baja resistividad, indicativas de la presencia de anomalías o cambios en el suelo o roca del lugar. Sirve para identificar posibles áreas con cavidades en el subsuelo.

Las líneas geofísicas registraron las condiciones del subsuelo hasta aproximadamente 60 pies de profundidad. Se observó que la mayoría, sino todas las anomalías encontradas en el estudio geofísico no resultaron ser cavidades, sino diferencias en la composición de los suelos encontrados y la localización de la interfase suelo-roca. Esto fue comprobado con las perforaciones realizadas en el mismo eje de las líneas de geofísica.

IV.c. Perforaciones

La misma compañía de geotecnia: Geotechnical and Engineering Services, PSC (GES) hizo 14 perforaciones del subsuelo, y se incluyó los resultados y recomendaciones en el informe de julio 2 de 2004. Las 14 perforaciones de aproximadamente 60 pies de profundidad cada una, presentaron un material variante desde arcilloso hasta roca y se

observaron pocos movimientos o comportamiento durante las perforaciones que permitieran identificar, si alguno, cavidades en éstas. Solo en dos perforaciones se observaron comportamientos en el sistema de perforación que pudiera catalogar estos intervalos perforados como lugares de pequeñas cavidades. Para todo objeto práctico, el terreno mostró muy buena solidez estructural y la ausencia de materiales de corteza poco competentes o cavidades, para tratarse de terrenos calcáreos. Las perforaciones en muchas ocasiones excedieron los estándares de penetración (resistencia) de la ASTM para muestreo de suelos, lo cual es indicativo de que los suelos son masivos y capaces de aguantar sobrecargas pesadas.

Las perforaciones y sus muestras confirmaron el modelo de geología previamente establecido por los mapas geológicos oficiales, los cuales presentan este comportamiento de suelos y rocas calizas variando en composición y mezcla entre estos. Solo en dos (2) perforaciones se encontró diferencia con estos modelos, debido principalmente a que en los mismos se encuentran localizados en áreas de mayor exposición a eventos de meteorización.

IV.d. Diseño Pluvial

El diseño pluvial deberá contemplar la implantación de obras para mejorar la calidad del agua antes de la misma ser inyectada a los sumideros, además de utilizar todas las medidas disponibles, como reductores de velocidad y otras medidas efectivas, con el fin de asegurar que no se alterará el patrón de descarga a los sumideros bajo condiciones naturales, según dispuesto por la Sección 14.04 del Reglamento de Planificación Núm. 3 (Reglamento de Lotificación y Urbanización). El diseño pluvial final del proyecto, copia del análisis hidrológico de los sumideros y los planos de cualquier obra que se

construya en los sumideros se certificarán y se someterán ante la Administración de Reglamentos y Permisos (ARPE), durante la etapa de diseño del proyecto.

IV.e. Pruebas de Potencial de Infiltración de los Sumideros

Nota: Para detalles completos, véase el Informe: Evaluación Geológica de Sumideros en una Propiedad de Applied Development, Inc. Donde Ubicará la Urbanización Altos de Florida II, Caso Núm. DN-02-1554-JP, por Geoworks, Inc., en junio 2004 (**Anejo 5 en la DIA-P**).

Los sumideros fueron sometidos a un análisis práctico de campo de su potencial de Infiltración, consistente en someter los mismos a un volumen de agua significativo, en un tiempo bien corto, prácticamente instantáneo. Para descargar el volumen de agua masivo, de prueba, a los sumideros se usó cuatro (4) contenedores de agregados de 30 metros cúbicos de capacidad cada uno, mejor conocidos como tumbas de arrastre. Estos contenedores (camiones con tumba de arrastre) tienen una compuerta que permite emular una represa y soltar el agua en un flujo masivo hacia el sumidero. La compuerta es sellada y asegurada exteriormente para seguridad. La capacidad de almacenamiento de agua de cada contenedor es de aproximadamente 6,000 galones de agua cada uno.

Para evitar una erosión masiva en el punto de contacto entre el agua y el suelo, se instala una capa de polietileno de espesor de 4 milésimas desde el punto de salida del agua hasta el punto de entrada del sumidero.

La forma de cálculo establecida para este análisis es simple. Se establece el volumen de agua a utilizarse, la medida del tiempo de descarga (aproximadamente 6,000 galones en 15 segundos) y el tiempo de infiltración del sumidero. En promedio un flujo de 6,000 galones sale a

una velocidad de 500 galones por segundo o un tiempo de descarga de 15 segundos. Esta velocidad representa que el sumidero estará recibiendo un flujo no menor a 50 pcs en 15 a 30 segundos. Este flujo es absorbido con velocidad similar, dependiendo de las condiciones geológicas y material en éstas. Hasta donde es posible, se ubican estacas en el fondo del sumidero con elevaciones para determinar la capacidad de infiltración de estos. Típicamente, las pruebas son documentadas en video para confirmar los tiempos envueltos.

Los resultados de las pruebas permiten comparar la necesidad del proyecto dada en (pcs, pies cúbicos por segundo) y compararlas con la encontrada en la prueba. La diferencia entre estos permite establecer si el sumidero (o sumideros) tiene o no suficiente capacidad de infiltración para recibir el exceso de la escorrentía pluvial generada por el proyecto. En caso de no existir suficiente capacidad infiltración, nos permite igualmente establecer los mecanismos para que el sumidero cumpla con las necesidades del proyecto, ya sea tan solo por la limpieza de estos, instalación de filtros o instalación de pozo(s) de inyección, si alguno. ***En el presente caso, afortunadamente, las pruebas de percolación revelan que los sumideros del lugar tienen amplia capacidad de captación e infiltración para aceptar la totalidad de la escorrentía generada por el proyecto.***

IV.f. Pruebas de Potencial de Infiltración

Las pruebas fueron realizadas durante la semana del 14 al 18 de junio de 2004, comenzando con el sumidero #2 seguido del sumidero #4 y finalmente en el sumidero #1. Los detalles de cada prueba están presentados en la ***Tabla 8 del informe de Geoworks que se acompaña.***

Tabla 8 del informe de Geoworks Resultados de las pruebas de percolación

Sumidero #2: La primera prueba se realizó en el sumidero #2, el cual se encuentra parcialmente protegido con controles de ingeniería. El flujo de prueba se determinó utilizando la necesidad de diseño de 4.68 pcs. La prueba se realizó simulando un flujo de 57 pcs o 10 veces mayor a la necesidad de diseño, y se obtuvo una capacidad de infiltración de **6.25 pcs, 1.57 pcs** sobre la necesidad de diseño, sin presentar algún tipo de factor limitante o obstrucción física que no le permitiera continuar a esa razón.

Sumidero #4. La segunda prueba se realizó en el sumidero #4, el cual se encuentra fuera de la propiedad. Para esta prueba en particular se utilizaron 3 tumbas de 6,000 galones cada una. La razón era poder simular la necesidad del proyecto de infiltrar más de 30 pcs en este lugar. Los 18,000 galones de agua simularon un flujo de 150 pcs o 5 veces la necesidad de diseño. El sumidero se encuentra con roca expuesta y sin suelo significativo en sus alrededores.

El volumen de 18,000 galones o 2,250 ft³ salió a una razón de 150 pcs. El volumen fue depositado y absorbido en su totalidad en 60 segundos o a una razón de **37.5 pcs, 6.3 pcs** sobre la necesidad de diseño (31.2 pcs), sin presentar algún tipo de factor limitante u obstrucción física que no le permitiera continuar a esa razón.

Sumidero #1. La tercera prueba se realizó en el sumidero #1, el cual se encuentra dentro de la urbanización Altos de Florida I. Para esta prueba en particular se utilizaron 4 tumbas de 6,000 galones cada una. La razón era poder simular la necesidad del proyecto de infiltrar más de 35 pcs en uso actual y 30 pcs de disposición adicional. Los 24,000 galones de agua simularon un flujo de 142 pcs o 2 veces la necesidad de diseño. El sumidero se encuentra con vegetación extensa y la presencia de eneas

en el fondo nos permite reconocer que en ciertas áreas el agua se queda empozada hasta su infiltración eventual.

El volumen de 24,000 galones o 3,000 ft³ salió a una razón de 142 pcs. El volumen fue infiltrado al subsuelo a razón de **107 pcs, 39 pcs** sobre requisito de diseño (Altos de Florida II) y drenaje actual (Altos de Florida I) de 68 pcs (35.8 pcs actual, AF-I; 32.2 incremento diseño, AF-II), sin presentar algún tipo de factor limitante u obstrucción física que no le permitiera continuar a esa razón.

Resumiendo: De acuerdo a las pruebas de percolación, los tres (3) sumideros #1, #2 y #4 propuestos como receptores de las aguas de escorrentía generadas por el proyecto, tienen una capacidad de infiltración combinada de **150.75 pcs**, la que excede la capacidad de diseño Altos de Florida II de **103.48 pcs**, por **47.27 pcs**. Ahora bien, a este total de **47.27 pcs** hay que restarle la descarga actual al sumidero #1 de 35.8 pcs proveniente de la Urb. Altos de Florida I, lo cual deja un balance de capacidad “libre”, disponible de infiltración en el sumidero #1 de **11.47 pcs**. **Véase Tabla 1 del Informe de Geoworks y Tabla 2.6**

⁶ Véase Figura 11 en la Página 57 de la DIA-P, Resultados de Pruebas de Percolación

TABLA 1. DESCRIPCIÓN SUMIDEROS Y CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN, ETC.

TABLA 2. Lista de los sumideros en el arera del Proyecto y sus características.

V. COMENTARIOS ACLARATORIOS

En la presente sección nos proponemos aclarar sobre *aspectos específicos* traídos a colación en relación, *entre otros*, a la geomorfología y geo-estructura de los sumideros, principalmente de parte del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales y de la Junta de Calidad Ambiental.

V.a. Cumplimiento con las Leyes y Reglamentación Aplicable

El proponente cumple con las Leyes y Reglamentación aplicable. Entre estas, las siguientes:

1. Ley Núm. 111 del 12 de julio de 1985 (Ley para la Protección y Conservación de las Cuevas, Cavernas y Sumideros de Puerto Rico).
2. Ley Núm. 292 del 21 de agosto de 1999 (Ley para la Protección de la Fisiografía Cársica).
3. Sección 14.04 del Reglamento de Planificación Núm. 3 (Reglamento de Lotificación y Urbanización).
4. Reglamento para el Control de la Inyección Subterránea de la Junta de Calidad Ambiental (JCA), Permiso de Inyección Subterránea, Clase 6.

V.b. Diseño del Sistema Pluvial

El diseño pluvial provee para la implantación de obras de ingeniería para mejorar la calidad del agua antes de la misma ser inyectada a los sumideros, con la construcción de reductores de velocidad y trampas de grasa, con el fin de asegurar que no se alterará el patrón de descarga a los sumideros bajo condiciones naturales, ni se contaminará éstos, según dispuesto por la Sección 14.04 del Reglamento de Planificación Núm. 3 (Reglamento de Lotificación y Urbanización) y el Reglamento para el Control de la Inyección Subterránea de la Junta de Calidad Ambiental (JCA).

Applied Development, Inc. está comprometida a preservar y proteger estos sumideros de los efectos de la erosión y/o sedimentación, instalando muros estabilizadores de gaviones y disipadores de energía para reducir la velocidad de infiltración, además de verja protector de alambre eslabonado. Esto reducirá significativamente la infiltración de sedimentos, hojas, y/o basura, los cuales tupen los conductos naturales de descarga hacia el acuífero.

El uso de muros en gaviones resulta muy efectivo para la protección de los sumideros. De acuerdo a observaciones hechas en el Sumidero #1 de Altos de Florida I, los muros de protección hechos en gaviones actúan como muros de gravedad y a la misma vez protegen el mismo de manera efectiva, ya que no se nota movimiento lateral en ninguna de las caras del sumidero.

V.c. Aguas Subterráneas e Interconectividad entre los Sumideros.

Durante la hinca de las 14 perforaciones hechas en el predio del proyecto, hasta una profundidad de por lo menos 60 pies (o hasta donde hubo rechazo a perforar) medidos desde la superficie del terreno, no se encontró el nivel freático. Por otro lado, y de acuerdo a la información de un pozo cercano (a menos de 100 metros al noreste del predio para el desarrollo, construido por Applied Development, Inc., se indica que el agua del subsuelo se encuentra a los 300 pies de profundidad. Igualmente se indica, según otros pozos de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA), como La Ceiba, que es típico del área en Altos de Florida II el encontrar el agua subterránea a profundidades 230-335 pies en el área. Esto evidencia que el agua que infiltra al subsuelo a través de los sumideros del lugar desciende verticalmente hacia las profundidades, hasta el nivel freático, y que no existe conectividad horizontal entre los sumideros del lugar. **Véase Ilustración 5.**

ILUSTRACION 5. LOCALIZACION PROYECTO Y POZO #7 (TOPO)

Por otro lado, la evaluación geofísica y geotecnia del predio no evidenció que existiera conexión entre los sumideros. Las líneas de resistividad eléctrica y perforaciones realizadas no presentaron resultados en que indicaran que existe una interconexión lateral que comunique los sumideros. Entendemos que no debe existir preocupación sobre este particular, debido a la distancia significativa entre uno y otro sumidero.

V.d. Solidez y Estabilidad Geo-estructural de los Sumideros y su Entorno

Con el programa de perforación se pudo confirmar que las anomalías reflejadas por el estudio de geofísica se debían a cambios en la composición del suelo, en variedad en la humedad y la profundidad de la interfase del suelo con la roca. Además, los barrenos fueron profundizados hasta niveles más allá de la influencia de carga que pueda causar la colocación de relleno en el predio o la posible carga producida por las residencias planificadas del proyecto.

Los resultados de los estudios geofísicos, geológicos y geotécnicos no revelan la existencia de cavidades o cavernas subterráneas o de sumideros cubiertos por depósitos de manto, o la sospecha de éstos en el área de Altos de Florida II.

Además, los resultados de las pruebas de potencial de infiltración a los 3 sumideros que se propone utilizar para la inyección de aguas de escorrentías indican que los mismos son estables y capaces de manejar los flujos de diseño.

V.e. Otros Hallazgos o Recoendaciones de los Estudios

En atención a los señalamientos del DRNA y JCA Applied no tiene objeción alguna en adoptar las siguientes recomendaciones:

- a) Mantener las obras de protección que se realicen en o alrededor del sumidero a una distancia mínima de diez (10) metros medidos del “ojo” tragante.
- b) De elevarse los niveles finales del terreno alrededor de los sumideros se colocarán bermas en los taludes con el propósito de estabilizarlos.
- c) Detrás de las bermas se construirá una verja que evite el acceso de personal no autorizado y el que se arroje basura al mismo.
- d) Se promoverá el crecimiento de vegetación alrededor de los sumideros.
- e) Se obtendrá el Permiso de Inyección Subterránea, Clase 6, según descrito por el Reglamento para el Control de la Inyección Subterránea de la Junta de Calidad Ambiental (JCA) y se cumplirá con todos los requisitos adicionales establecidos para el mismo.
- f) Etc...

VI. CONCLUSIONES

Luego de revisar toda la documentación que se me facilitara y de acuerdo a la experiencia profesional de más 50 años en la práctica de la geología, y como autor de las guías usadas por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales: “Guía Práctica para la Identificación, Protección, Limpieza y Rehabilitación de Sumideros (febrero de 1988)”, podemos conducir lo siguiente:

1. El área del predio para el proyecto Alturas de Florida II cuenta con cuatro sumideros activos, de los cuales tres (3) se proponen para usarse en la disposición del excedente de la escorrentía pluvial generada por el proyecto.
2. Según se indica en la DIA-P del proyecto e informes técnicos relacionados, se está proponiendo descargar la escorrentía pluvial del proyecto a los sumideros #1 (en Altos de Florida I), #2 (dentro del proyecto) y #4 (colindante al proyecto en el suroeste). **El sumidero #3** localizado fuera de los Altos de Florida I y II y que se usa actualmente en la disposición de aguas de escorrentía de la Urbanización Haciendas de Florida, **no se usará para disponer de las aguas pluviales del proyecto.**
3. El área general del proyecto muestra una estabilidad geo-estructural satisfactoria y los sumideros del lugar tienen suficiente capacidad de infiltración para recibir el incremento (o excedente) de la escorrentía generada por el proyecto, de manera segura, y en cumplimiento con todas las leyes y reglamentos aplicables.
4. Según los resultados de las pruebas de percolación llevadas a cabo, el proyecto generará un excedente de escorrentía de **103.48 pcs**, mientras que los sumideros del lugar tienen una capacidad de percolación (combinada) de **150.75 pcs**. Es decir, que la capacidad de captación de los sumideros a usarse para disponer de la escorrentía cuenta con un excedente de capacidad utilizable **47.27 pcs**. A este total de **47.27 pcs** hay que restarle la descarga actual al sumidero #1 de **35.8 pcs**

proveniente de la Urb. Altos de Florida I, lo cual deja un balance de capacidad “libre”, disponible de infiltración de **11.47 pcs.**

5. Los resultados de los estudios geofísicos, geológicos y geotécnicos no revelan la existencia de cavidades o cavernas subterráneas o de sumideros cubiertos por depósitos de manto, o la sospecha de éstos en el área de Altos de Florida II.
6. La evaluación geofísica y geotecnia del predio no evidenció que existiera conexión horizontal o vertical entre los sumideros. Los sumideros se encuentran bien distantes unos de otros.
7. Los resultados de las pruebas de potencial de infiltración a los 3 sumideros que se propone utilizar para la inyección de aguas de escorrentías indican que los mismos son estables y capaces de manejar los flujos de diseño.
8. El diseño pluvial provee para la implantación de obras de ingeniería para mejorar la calidad del agua antes de la misma ser inyectada a los sumideros, con la construcción de reductores de velocidad y trampas de grasa, con el fin de asegurar que no se alterará el patrón de descarga a los sumideros bajo condiciones naturales, ni se contaminará éstos, según dispuesto por la Sección 14.04 del Reglamento de Planificación Núm. 3 (Reglamento de Lotificación y Urbanización) y el Reglamento para el Control de la Inyección Subterránea de la Junta de Calidad Ambiental (JCA).
9. Applied Development está comprometida a preservar y proteger estos sumideros de los efectos de la erosión y/o sedimentación, instalando muros estabilizadores de gaviones y disipadores de energía para reducir la velocidad de infiltración, además de verja protectora de alambre eslabonado. Esto reducirá significativamente la infiltración de sedimentos, hojas, y/o basura, los cuales tupen los conductos naturales de descarga hacia el acuífero.
10. El uso de muros en gaviones resultan muy efectivos para la protección de los sumideros. De acuerdo a observaciones hechas en el Sumidero #1,

los muros de protección hechos en gaviones actúan como muros de gravedad y a la misma vez protegen el mismo de manera efectiva, ya que no se nota movimiento lateral o asentamiento de las caras del sumidero.

Respetuosamente Sometido,

Hoy 17 de marzo de 2008, en Toa Baja, Puerto Rico

Leovigildo Vázquez-Iñigo
Geólogo y Químico (Lic. #Q00765)
Consultor Ambiental

Urb. Santa María
M-23 Calle Santa Marta
Toa Baja PR 00949-3950

Tel. (787) 251-4026
(787) 779-1442
Cel. (787) 528-6078
e-mail leovigildo1929@yahoo.com
LVazquez1929@onelinkpr.net
Leovigildo1929@mns.com