

GEOCONTROL LTDA.

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES E INTERVENTORÍAS.

ESTUDIO DE SUELOS

PROYECTO

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

PICHINDE - CALI

ING. FRANCISCO CAICEDO

MEDICIONES AMBIENTALES - MEDISAM LTDA

SANTIAGO DE CALI, NOVIEMBRE 2011

CALLE 5B4 No 34 - 65, SAN FERNANDO, CALI -VALLE
FRENTE A LA CANCHA DE HOCKEY
TELEFONO- FAX 558-58- 92 CEL. 315 476 29 66

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 3
2. TRABAJOS DE INVESTIGACION 4
   2.1. PERFORACIONES 4
   2.2. ENSAYO DE PENETRACION ESTÁNDAR 4
   2.3. MUESTREO 5
   2.4. ENSAYOS DE LABORATORIO 5
3. ESTRATIGRAFÍA 6
4. PROPIEDADES DEL SUELO 7
5. CAPACIDAD PORTANTE 9
   5.1 CIMENTACIONES SUPERFICIALES 9
6. CONCLUSIONES 10
   6.1. FUNDACION PRPUESTA LECHOS SECADO 10
   6.2. MURO DE CONTENCION 11
   6.3. FUNDACION PROPUESTA TANQUES 12
7. INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA 14
8. RECOMENDACIONES 16
9. LIMITACIONES 18

ANEXO1: FIGURAS

ANEXO2: REGISTROS DE PERFORACION Y ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO3: REGISTRO FOTOGRAFICO

1. INTRODUCCION

El presente estudio de suelos se realizó a solicitud del Ingeniero FRANCISCO CAICEDO, en nombre de la firma Mediciones Ambientales MEDISAM LTDA; para la construcción de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR), que se ubicara en un lote rural de topografía ondulada del corregimiento Pichindé de la ciudad de Santiago de Cali (Valle del Cauca).

La planta de tratamiento de aguas residuales se proyecta construirla superficialmente con dos unidades de tratamiento en fibra de vidrio, con una altura de 5,0m y con un diámetro de 5,40m; y además se va a construir 2 lechos de secado en concreto los cuales tienen dimensiones aproximadas en planta de 5,0 * 3,50m y de 1,20m de profundidad.

Este informe contiene la descripción de la investigación del suelo hecha con perforaciones y ensayos de campo y laboratorio, los resultados de ella representados por la estratigrafía y las propiedades del suelo, los cálculos de capacidad portante, las recomendaciones constructivas y los parámetros sísmicos.

GEOCONTROL LTDA, agradece al **Ing. Francisco Caicedo** la confianza depositada para la realización de este Estudio y al cumplir con los objetivos propuestos, espera ser útil en sus futuros proyectos.

2. TRABAJOS DE INVESTIGACION

De acuerdo con el área del proyecto, la magnitud de las cargas que transmitirá la estructura y la norma NSR-2.010, se planifico y ejecuto la siguiente serie de trabajos:

2.1. PERFORACIONES

Empleando el método de perforación a percusión sin lavado, con equipo mecánico accionado por un motor; se ejecutaron tres (03) perforaciones, distribuidas bajo la zona de construcción de la futura planta. La profundidad de investigación alcanzó una profundidad máxima de seis (6,00) m; donde se considera que se han disipado los esfuerzos inducidas por las estructuras a cimentar.

En la figura N. 01 se muestra la ubicación de las perforaciones.

2.2. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (EPE)

El ensayo de penetración estándar es una prueba dinámica sencilla, que se realiza a medida que se hacen las perforaciones y permite obtener la resistencia del suelo en sitio. La mecánica de la prueba y el equipo a utilizar corresponden a la descrita en la norma ASTM D 1586-99.

En resumen, la prueba consiste en hincar en el estrato de interés un muestreador del tipo Cuchara Partida (Split Spoon Sampler) de diámetro 2", golpeándolo con un martillo de 140lb de peso, que se deja caer libremente desde 30" de altura, contando y anotando él número de golpes necesarios para lograr una penetración de 1 pie, valor que se denomina N y es el resultado de la prueba.

El ensayo se repitió en cada una de las perforaciones, a intervalos de profundidad de 1.00 a 1.50m.

2.3. MUESTREO

Al realizar cada ensayo de penetración estándar se tomó una muestra alterada del recobro de la cuchara partida.

2.4. ENSAYOS DE LABORATORIO

Las muestras obtenidas se llevaron al laboratorio de suelos, en donde se desarrollaron las siguientes pruebas:

- Humedad natural
- Límites de Atterberg
- Granulometría
- Clasificación bajo el sistema unificado de suelos

En la parte final del informe se anexan: los registros de perforación del subsuelo y el resumen de los resultados de los ensayos efectuados.

3. ESTRATIGRAFIA

En la figura 2, se muestra el perfil estratigráfico promedio del subsuelo obtenido por los sondeos y ensayos de laboratorio ejecutados; y en él se aprecia las siguientes capas:

Estrato A

CAPA VEGETAL de limo arcilloso de color café oscuro. Contiene raíces del tipo fina. Su espesor medio es de 50cm.

Estrato B

LIMO ARCILLOSO de color café rojizo y/o rojizo claro. Contiene algunas partículas de roca meteorizada. Subyace el estrato anterior y va hasta la máxima profundidad explorada. Su clasificación bajo el sistema unificado de suelos es en promedio del tipo **(MH).** Se resalta la presencia de una tonalidad café amarillenta en la perforación P-2, a partir de unos 5,00m de profundidad en promedio.

Nivel Freático

El nivel freático NO se determinó en la investigación realizada. Se destaca que las actividades de campo se realizaron en época de invierno Octubre/2.011.

4. PROPIEDADES DEL SUELO

En la Tabla Resumen se muestran los principales parámetros del suelo, de los cuales se pueden deducir las principales propiedades:

El porcentaje de partículas que pasan en promedio los tamices # 4 y 200; hasta la máxima profundidad investigada es respectivamente de 95 y 88%, lo que nos indica la prevalencia de una condición de suelo fino.

La humedad natural hasta una profundidad media de 4,50m, arroja un valor promedio de 52%, superior a su límite plástico; lo que nos muestra lo saturado y poco consolidado que se encuentra el subsuelo; a excepción del ultimo metraje estudiado donde se obtuvo un valor medio cercano a su límite plástico, lo que nos indica lo medianamente saturado y consolidado que se encuentra hasta dicho fondo perforado.

Se resalta que los altos valores obtenidos de los ensayos se deben a la presencia de minerales volcánicos dentro de la matriz del suelo como la pirita, y que al someterse a altas temperaturas, se desintegra (se pierde peso seco), y se aumenta aparentemente el contenido de humedad y de los límites del suelo.

El índice de preconsolidacion estimado por correlación con el índice de liquidez arrojo valores positivos hasta un fondo promedio de 4,50m y cercanos a cero, a partir de dicho fondo; lo que estima un resultado promedio de 2,00kg/cm^2; a excepción del ultimo metraje donde se obtuvo un valor medio de 10,00kg/cm^2, que ratifican lo dicho con anterioridad.

El índice de plasticidad para los metros perforados en promedio, arrojo un valor medio de 35%, lo que nos indica una condición contracto-expansiva de suelo del tipo ALTA-MEDIA; y esto debido al tipo de origen del suelo y no será crítica si se siguen las recomendaciones que se darán más adelante.

La resistencia del suelo N, hasta el primer metro de profundidad en promedio estudiado, arrojo un valor medio de 7golpes/pie, que le estima un valor de resistencia a la compresión inconfinada Qu inferior a 1,00kg/cm²; asignándole una consistencia de suelo **MEDIA**.

A partir de dicha profundidad y hasta los cuatro con cincuenta metros de profundidad en promedio, se obtiene un valor medio entre 11 y 18golpes/pie, que le estiman un Qu inferior a 2,00kg/cm², que le asignan una consistencia de suelo **FIRME.**

Para el resto de metros estudiados se obtiene resultados medios superiores a 20golpes/pie, que le estima resultados de Qu mayores a 2,50kg/cm², que le confieren una consistencia de suelo **MUY FIRME.**

TABLA RESUMEN

PROF. (m)	TIPO DE SUELO	L.L.	L.P.	I.P.	w %	I.L.	Pc (kg/cm²)	N (golpes/pie)	%P 4	%P 200	Dr %	Ø °	Qu (kg/cm²)
0,50	MH	96	41	55	50	0,16	4,00	7	100	100			0,90
2,00	MH	79	44	35	53	0,26	2,00	11	95	85			1,30
3,50	MH	71	44	27	51	0,26	2,00	18	100	100			2,00
5,50	MH	62	47	15	47	0,00	+10,00	24	86	66			2,60

5. CAPACIDAD PORTANTE

5.1. CIMENTACIONES SUPERFICIALES

La capacidad portante del suelo para cimentaciones superficiales, se evaluó mediante la ecuación general de la capacidad de carga desarrollada por Terzaghi (1943) y modificada por Meyerhof (1963). La mecánica consiste en hallar la capacidad última del suelo y al aplicarle un correcto factor de seguridad, obtener la Capacidad Portante Admisible.

Las expresiones a usar son:

$$qult = c\,Nc\,Fcs\,Fcd\,Fci + q\,Nq\,Fqs\,Fqd\,Fqi + \tfrac{1}{2}\,\gamma\,B\,N\gamma\,F\gamma s\,F\gamma d\,F\gamma i \quad (*)$$

$$qadm(neta) = qult - q / F.S.$$

Siendo:

qult y qadm(neta): Capacidad portante ultima y admisible neta, respectivamente.

c: Cohesión = Resistencia al corte en condición no drenado, a una profundidad igual al ancho del cimiento (B).
Según Stroud (1947) es igual a 0.05 x N (kg/cm²), donde N es el resultado del SPT en golpes/pie.
q: Esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación
γ: Peso específico del suelo
B: Ancho de la cimentación

Nc, Nq, Nγ: Factores de capacidad de carga.
Fcs, Fqs, Fγs: Factores de forma
Fcd, Fqd, Fγd: Factores de profundidad
Fci, Fqi, Fγi: Factores por inclinación de carga

F.S.: Factor de seguridad (F.S. = 3.0).

* DAS, Braja M. "Principios de Ingeniería de Cimentación" Internacional Thomson Editors. Cuarta edición.

6. CONCLUSIONES

6.1. FUNDACION PROPUESTA LECHOS DE SECADO

Los lechos de secado a construir para la planta de tratamiento de agua residual serán principalmente unos tanques o cajones de almacenamiento, de áreas promedios en planta de 3,50 m * 5,00m y con altura máxima de 1,20m.

Dicha PTAR, se establecerá en un terreno con pendiente ondulada, por lo que se tendrán que ejecutar cortes sobre la ladera, ya que los lechos van semienterrados; según las cotas iniciales de diseño, con profundidades media dentro del terreno de 0,80m.

Las estructuras se cimentaran en un suelo de condición del tipo fino y cohesivo, compuestos por LIMOS ARCILLOSOS de mediana plasticidad, medianamente preconsolidado y de consistencia FIRME a partir del primer metro en promedio, sin presencia de nivel freático.

Dadas las condiciones anteriores es factible cimentarlo superficialmente, con una placa de fondo, que ha de transmitir presiones muy bajas sobre el suelo de fundación, garantizando de esta manera unos asentamientos mínimos permisibles.

Dicha fundación consistirá en una losa rígida y maciza, cimentada aproximadamente a 0,80m de profundidad, contado desde el nivel actual del terreno, que se considerara como el nivel cero del proyecto.

La placa de fondo, se diseñará para que la presión de contacto, suelo-cimiento, no sea mayor de **1,20kg/cm^2 (12,0 ton/m^2)**; valor este, mucho mayor que las presiones que transmitirá la columna de agua en el tanque; y para un coeficiente de balasto **Ks** de **2,70kg/cm^3.**

La losa de fondo tendrá un espesor no menor de 20cm y llevará el refuerzo que disponga el Ingeniero Calculista; pero como mínimo, se ha de embeber el exigido por las condiciones de retracción y temperatura.

La placa tendrá un concreto con una resistencia a la compresión a los 28 días de mínimo 3.500psi, irá reforzada y se fundirá toda al tiempo para evitar juntas frías.

Para que en la losa de fondo, no se presenten subpresiones por efecto de una posible infiltración en el suelo y por la relativa susceptibilidad a cambios volumétricos de los primeros metros; esta se ha de apoyar en un relleno con material granular tipo sub-base, cumpliendo las exigencias de la norma INVIAS.

Esta capa tendrá mínimo 40cm de espesor, y será compactada en capas de máximo 10cm, con el fin de alcanzar el 95% de su Proctor Modificado.

En su defecto, se puede apoyar sobre un concreto ciclópeo de resistencia de 2.500psi y con un espesor de mínimo 30cm; con una proporción concreto-piedra de 60-40 y un tamaño máximo de este ultimo de 4".

6.2. MUROS DE CONTENCIÓN

Los muros de contención del tanque de almacenamiento, se cimentaran sobre la misma losa de fondo; la cual se puede engrosar en la línea del muro.

La fundición de los muros y la losa se harán al tiempo para evitar juntas frías.

Los muros de contención, se diseñarán para trabajar en voladizo y para soportar un empuje de tierras de tipo activo en toda su altura.

La carga sobre el muro se puede calcular a partir de una distribución triangular de presiones, afectada por un coeficiente de presión de tierras; por lo que se determina en base a la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Pa = l/2 * Ka * \gamma *(h)^2}$$

Dónde:

Pa = Presión activa (ton)
Ka = Coeficiente de presión activa (según Rankine).

Dicho valor de coeficiente se puede determinar así:

$$\mathbf{Ka = Tan^2 (45^o - Ø/2)}$$

Siendo Ø, el ángulo de fricción interna; que se puede obtener, de las siguientes correlaciones:

- De la gráfica de variación del ángulo de fricción con el índice de plasticidad (según Bjerrum y Simons, 1960).

Para un índice de plasticidad promedio de 55%, tenemos un Ø = 25º.

- En forma gráfica Peck, Hanson y Thornburn (1974), proporcionaron una correlación entre Ncor y Ø; que se aproxima a la siguiente ecuación dada por Wolf en 1989:

$$Ø \text{ (grados)} = 27.1+0.3*Ncor-0.00054*Ncor^2$$

Para un valor de resistencia al ensayo de penetración mínimo promedio de N = 7 golpes/pie; tenemos un Ø = 29,2º.

Por lo que tenemos un valor de diseño **Ø = 27°**.

Por consiguiente **Ka = 0,38.**

γ = Peso unitario del suelo.

Dada la consistencia y tipo de suelo, utilizaremos un valor estimado de **1,90Ton/m^3.**

h = Altura del muro en m.

6.3. FUNDACION PROPUESTA TANQUES

Es factible apoyar los tanques de la PTAR, sobre en una placa de concreto, de dimensiones aproximadas en planta de 13,0m * 13,0m, engrosada si fuese necesario por vigas en puntos donde el cálculo estructural lo requiera y de este modo poder transmitir presiones muy bajas sobre el suelo de fundación; y garantizar unos asentamientos mínimos y aceptables, que no afecten la estructura a instalar.

Dicha fundación consistirá en una losa rígida y maciza, cimentada al nivel actual del terreno, o unos centímetros más (según diseño arquitectónico y/o estructural), que se ha de considerar como el nivel cero del proyecto.

La placa de fondo, se diseñará para que la presión de contacto suelo-cimiento, no sea mayor de 1,20kg/cm² (12,00ton/m²), y para un coeficiente de balasto Ks de 2,70kg/cm³.

La fundación ha de tener un espesor mínimo tentativo de 30cm, o el obtenido según el resultado del cálculo estructural, que ha de cumplir la resistencia estructural en cuanto a acciones de cortante, flexión y punzonamiento.

La placa tendrá un concreto con una resistencia a la compresión a los 28 días de mínimo 3.500psi, irá reforzada y se fundirá monolíticamente con sus posibles engrosamientos, para evitar juntas frías.

Para brindar una plataforma de apoyo a la losa y que no se presenten subpresiones por efecto de una posible infiltración en el suelo; esta ha de descansar sobre un relleno con material granular tipo Base Invias, con un espesor no menor a 20cm, y un sobreancho por sus costados de mínimo 100cm.

Las excavaciones se llevaran hasta una profundidad de 1,00m, con un sobreancho en su perímetro de mínimo 100cm. Luego se recompactará el fondo o subrasante obtenida; con el fin de obtener el 90% de su peso seco máximo.

La capa de restitución de niveles será un material granular tipo Subbase Invias y tendrá mínimo 65cm de espesor, si el nivel cero del proyecto corresponde al nivel actual del terreno; o tendrá un espesor mayor si así lo indican las cotas del proyecto.

El anterior estrato será compactado en capas de máximo 15cm, con el fin de alcanzar el 95% de su Proctor Modificado.

7. INTERACCION SUELO - ESTRUCTURA

La interacción sobre la estructura durante sismos se evaluará dé acuerdo con el Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes (NSR-10), usando los siguientes parámetros:

El área del proyecto se encuentra dentro de la zona de amenaza sísmica Alta y se ha de tener en cuenta los siguientes parámetros:

Coeficiente de importancia (I) : 1.0

Tipo de perfil de suelo : S-2

Perfil en donde entre la roca y la superficie hay menos de 60 m de depósitos estables de suelo de consistencia media, con velocidad de onda cortante Vs entre 270 y 400 m/s.

Coeficiente de suelo : 1.2
Coeficiente de aceleración pico efectiva (Aa) : 0.25

Coeficiente que representa la aceleración esperada en roca, para un 10% de probabilidad de ser excedida en 50 años.

Clasificación del perfil de suelo : D

Velocidad de onda cortante (Vs) entre 180 y 360 m/s.
Resistencia a la penetración estándar (N) entre 15 y 50.

Espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado (Sa)

Máxima aceleración horizontal de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un periodo de vibración T.

Coeficiente de ampliación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos (Fa): 1.30

Coeficiente de ampliación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios (Fv): 1.90

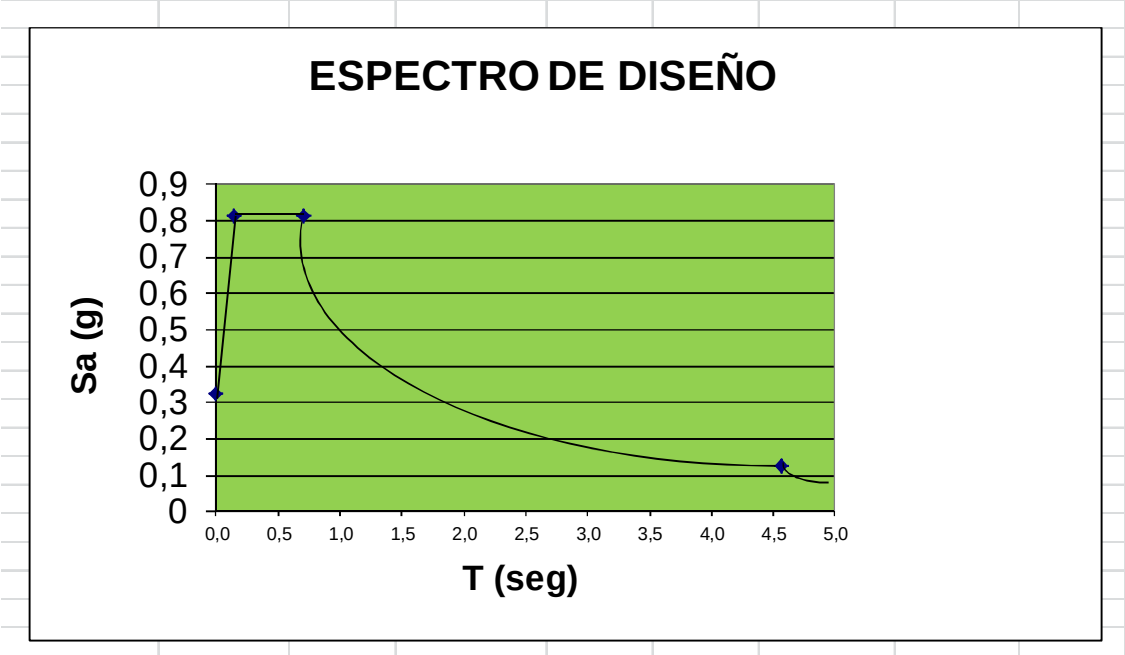
Periodo de vibración al cual inicia la zona de aceleración constante del espectro de diseño (To = Fv/3Fs)

Periodo de vibración al cual inicia la transición de aceleración descendiente para periodos cortos (Tc = 0.48Fv/Fa)

Periodo de vibración al cual inicia la zona de aceleración constante del espectro de diseño para periodos largos (Tl = 2.4Fv)

Para un coeficiente de amortiguamiento critico de 5%; se tiene:

Para T < To;	Sa = Aa I + Aa I T / To (2.5Fa-1)
Para T < Tc;	Sa = 2.5 Aa Fa I
Para T > Tl;	Sa = Aa I /2
Para Tc <T <Tl;	Sa = 1.2 Aa Fv I /T



8. RECOMENDACIONES

Para la adecuación del terreno en el área a construir los lechos de secado e instalar los tanques de la PTAR, debe tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

En primera instancia se debe retirar el Estrato A, conformado por la capa vegetal (e = 0.50cm).

Debido al uso de cimentaciones superficiales, las excavaciones se llevaran hasta el nivel de diseño más mínimo 60cm, para dar cabida a la losa de cimentación del tanque y la capa de sub-base granular y/o ciclópeo; todo esto con el fin de retirar el material no apto para apoyo, dar cabida a la cimentación y cumplir con las cotas del proyecto.

Las excavaciones para los lechos se harán con retroexcavadora, con un talud en corte vertical (para H < 3.0m), siendo estables los taludes a mediano plazo, por lo que la fundición total, se debe realizar en el menor tiempo posible.

Los cortes obtenidos se recomienda protegerlos con plásticos, y/o con un entibado en madera (tablas y tacos o plaquetas), y/o se realizara un champeado.

Dentro de las excavaciones de la cimentación superficial no aparecerá el nivel freático, pero no se descartan filtraciones por aguas lluvias o de escorrentía proveniente de las partes altas; por lo que se ha de prever un buen sistema de bombeo, ya sea del tipo manual o con motobomba.

La subrasante obtenida del “cajeo” anterior se debe nivelar y compactar, con el fin de alcanzar mínimo el 90% de su Proctor Modificado.

Ya seca la excavación, y conformada la subrasante, se procede a construir un relleno con material granular seleccionado (tipo sub-base INVIAS), que se ha de compactar hasta alcanzar un peso seco mínimo del 95%.

En los sitios donde se proyecten juntas de construcción, se deben instalar detenedores de agua del tipo cinta Sika PVC o similar; además se deben emplear aditivos para impermeabilizar el concreto, para evitar al máximo la filtración de agua; y así garantizar la estanqueidad de los tanques.

Para recoger las posibles filtraciones del tanque, monitorear su impermeabilización, evitar la subpresion y la inestabilidad de la ladera; se recomienda la construcción de un filtro o subdren perimetral (tipo Pavco), detrás de los muros y/o en la parte baja de los tanques.

Para los metros estudiados, el potencial expansivo del suelo lo podemos clasificar como Medio - No Crítico, sin embargo se debe tener presente que No es conveniente, la presencia de árboles no nativos de la región (ficus, eucaliptus, cauchos, urapanes, acacias, mangos, ceibas, etc) cerca a las estructuras que se van a construir; por lo que se debe conservar una distancia de al menos de 10m contra los árboles de gran talla y cobertura vegetal.

9. LIMITACIONES

La información consignada en este reporte y las recomendaciones dadas, se basan en el análisis de los resultados de la investigación realizada, en conjunto con las características del proyecto.

Cambios en este último que afectan cargas o excavaciones y cambios notables en las condiciones locales del suelo se me comunicaran, con el fin de estudiar la nueva situación y presentar las recomendaciones adicionales necesarias.

EDUARDO SILVA
INGENIERO CIVIL
Matrícula 76202-62918 VLL

DIEGO GUZMAN
GERENTE
GEOCONTROL LTDA

ANEXO No.1

FIGURAS

CALLE 5B4 No 34 - 65, SAN FERNANDO, CALI -VALLE
FRENTE A LA CANCHA DE HOCKEY
TELEFONO- FAX 558-58- 92 CEL. 315 476 29 66

GEOCONTROL LTDA.
LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS - CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS CIVILES
E INTERVENTORÍAS.

ANEXO No. 2

REGISTROS DE PERFORACIÓN Y ENSAYOS DE LABORATORIO

CALLE 5B4 No 34 - 65, SAN FERNANDO, CALI -VALLE
FRENTE A LA CANCHA DE HOCKEY
TELEFONO- FAX 558-58- 92 CEL. 315 476 29 66

ANEXO No 3

REGISTRO FOTOGRAFICO

CALLE 5B4 No 34 - 65, SAN FERNANDO, CALI -VALLE
FRENTE A LA CANCHA DE HOCKEY
TELEFONO- FAX 558-58- 92 CEL. 315 476 29 66