

**DATOS GEOTÉCNICOS DE CAPACIDAD SOPORTANTE O DE
CIMENTACION PARA LA OBRA CIVIL**

PROYECTO: Ciudad Gobierno

LOCALIZACIÓN: Provincia: [San José](#) Cantón: [San José](#) Distrito: [Catedral](#)
DESARROLLADOR: [Consejo Nacional de Concesiones](#)
PROFESIONAL QUE ELABORA EL ESTUDIO: **Profesional en Ingeniería Civil o de
Geología con especialidad en Geotecnia**
Nombre del profesional: [Elier Navarro Quirós](#)
Número de cédula: [1-1001-0675](#) **Número de colegiado:** [IC-15760](#)
Registro SETENA: [CI-164-17](#) Vigencia: [17 de julio del 2021](#)

DOCUMENTO DE RESPONSABILIDAD PROFESIONAL

El suscrito **Elier Navarro Quirós**, portador de la cédula de identidad número **1-1001-0675**, profesional en **Ingeniería Civil**, manifiesto ser responsable directo de la información técnica científica que se aporta en el presente documento, la cual se elaboró para el proyecto denominado: **Ciudad Gobierno**, que se desarrollará los siguientes catastrados y números de finca.

Plano	Numero de Finca
SJ-850-1988	27017
SJ-848-1988	45513
SJ-793-1987	45667
SJ-1950389-2017	88270
SJ-654916-1986	54815
SJ-550906-1999	603717
SJ-102574-1960	55052
SJ-10221-1972	55054
SJ-722060-2001	49393
SJ-1715652-2014	57359
SJ-109148-1962	73598
SJ-23864-1955	48932
SJ-69206-1992	49391
SJ-278688-1977	200459
SJ-931525-2004	200461
SJ-535161-1984	75157A
SJ-19090-1952	74233A
SJ-101547-1959	45514

En virtud de ello, someto los Datos Geotécnicos de Capacidad de Soporte o de Cimentación para la Obra Civil, al conocimiento de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), como autoridad en materia de Evaluación de Impacto Ambiental del Estado costarricense, con el objetivo que sean analizados y se constate que los mismos han cumplido con los lineamientos técnicos y normativos establecidos. Tengo presente que en apego al artículo 5 del Decreto Ejecutivo 32712-MINAE, la información contenida de estos datos, se presenta bajo el concepto de Declaración Jurada y a conocimiento y conciencia de que dicha información es actual y verdadera y que en caso contrario pueden derivarse consecuencias penales del hecho. Por lo cual, manifiesto que, de encontrarse alguna irregularidad en la información, seré responsable no sólo por esta falta, sino también por las consecuencias de decisión que a partir de la información suministrada pudiera incurrir la SETENA y el desarrollador.

Atentamente.

Firma del profesional responsable

Fecha de emisión: 23/03/2021

Contenido

1. Resumen de Resultados y Conclusiones Técnicas	4
2. Introducción	6
3. Trabajo Realizado	7
4. Resultados Geotécnicos Obtenidos	7
5. Evaluación de Resultados y Conclusiones Geotécnicas	11
6. Discusión Sobre los Grados de Incertidumbre y Alcance del Estudio	14
7. Referencias Bibliográficas	15
8. Tablas y Figuras	16
9. Anexos.....	21

1. Resumen de Resultados y Conclusiones Técnicas

Los sondeos y las pruebas de laboratorio ejecutadas para caracterizar los estratos del subsuelo encontrados, aunados a los análisis geotécnicos usuales (capacidad de soporte, consideraciones de asentamientos) permiten emitir las siguientes conclusiones técnicas:

Los detalles y memoria de cálculo se encuentran en el informe adjunto, los principales resultados son los siguientes:

- El proyecto consiste en la construcción de edificios de oficinas. Se trata de un terreno con una pendiente suave en dirección sur.
- El terreno está compuesto por limos color café, café oscuro, café grisáceo, gris, gris oscuro, beige grisáceo, y café claro, arenas limosas color gris, gris oscuro, café grisáceo, y una arcilla color café grisáceo oscuro, de consistencia blanda a dura (N_{SPT} entre 4 y 97 golpes).
- Se realizaron nueve sondeos (P1 a P9) con profundidades que varían entre 5.05 m y 6.85 m hasta alcanzar el rebote del mazo.
- En los sondeos realizados se determinó la presencia del nivel freático a 1.0 m en los sondeos P1 y P3, a 1.50 m en el sondeo P2 y a 0.45 m en el sondeo P9, medido bajo el nivel actual del terreno y en la fecha de ejecución de los ensayos de campo. Este nivel obedece a un nivel freático colgado y puede variar a lo largo del año, e incluso desaparecer. En los restantes sondeos (P4, P5, P6, P7 y P8) no se determinó la presencia del nivel de agua hasta la profundidad explorada.
- En el caso del uso de placas, las capacidades de soporte en profundidad varían entre 10.3 ton/m² a 25.0 ton/m² para placas, dependiendo del nivel de desplante y la ubicación de los sondeos.
- En vista de la presencia de suelos blandos ($N_{SPT} < 5$ golpes) y niveles de agua colgados a nivel superficial, también se puede considerar el uso de placas y rellenos de sustitución en profundidad, losas flotantes, cimentaciones profundas como micropilotes, pilotes, pilotes helicoidales, jet grouting, columnas de grava, o técnicas de mejoramiento del terreno como precarga, compactación dinámica, etc.
- Se recomienda remover la capa vegetal, materiales de relleno, suelos blandos, etc., que se encuentren durante el proceso constructivo, y sustituirlos por un material granular compactado para la construcción de los cimientos, pisos y losas.
- Se recomienda realizar la comprobación de capacidad de soporte en el fondo de placa una vez que se realicen la excavación de la fundación.
- En el caso estudiado, y dada la consistencia de los suelos encontrados de profundidad, se recomienda utilizar un **perfil de tipo S3** para el diseño estructural, con lo cual considerando una **Zona tipo III** según el Código Sísmico de Costa Rica 2010, se obtiene una **aceleración pico efectiva de 0.36g** para un periodo de retorno de 475 años.

- El riesgo por licuación de los materiales presentes es bajo.
- En el sondeo P9 se detectó la presencia de hidrocarburos en la matriz de suelo.
- En la zona del sondeo P8 se recomienda realizar perforaciones a rotación y perfiles geofísicos para determinar la resistencia del suelo a mayor profundidad, ya que en la visita de campo se indicó que la edificación cercana estaba sobre una sustitución de gran espesor y una losa flotante producto de suelos blandos o rellenos mal compactados, y esta condición no se vio reflejada en este sondeo.
- Se concluye que el terreno es apto para el desarrollo del proyecto siempre y cuando se sigan las recomendaciones del presente informe.

2. Introducción

Datos sobre la finca estudiada

Los terrenos se encuentran ubicados en Plaza Viquez, distrito de Catedral, cantón de San José, provincia de San José, y va a ser utilizado para el desarrollo del Proyecto “**Ciudad Gobierno**”.

Su ubicación geográfica se muestra en la Figura 1, según la hoja cartográfica Maria Aguilar 1:10 000 del Instituto Geográfico Nacional. En la Figura 2 se muestra un extracto del mapa de amenazas naturales para la zona de estudio según la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE).

Coordinación profesional realizada

La organización y desarrollo del presente trabajo estuvo a cargo del personal de la empresa **GEOTECNIA & CONSTRUCCION S.A. Ingenieros Consultores**.

Objetivo del estudio

Este informe se enmarca dentro de la categoría de los estudios de reconocimiento y viabilidad técnica cuya intención principal es la de determinar la existencia de problemas mayores, fácilmente detectables, como, por ejemplo: arcillas expansivas, limos colapsables, rellenos orgánicos, riesgos de deslizamientos y otros que comprometan la seguridad del proyecto.

Metodología aplicada

Para los sondeos realizados se utilizó la metodología del SPT según la norma ASTM D-1586, en la cual se hincan en el suelo un dispositivo de acero (muestreador o punta cónica) mediante la caída libre de una masa de 64kg (140 libras) desde una altura de 76 cm. Conforme se va hincando el muestreador se cuenta el número de golpes cada 15 cm necesarios para penetrar el suelo, hasta una penetración total de 45 cm, y luego se extrae el muestreador. Se reportan los golpes de los últimos treinta centímetros (30 cm) y este valor es conocido como el N_{SPT} .

Los ensayos del SPT proporcionan una medida de la consistencia del suelo en toda la profundidad explorada, pues mientras más resistente sea el suelo, mayor será el número de golpes (caída libre de la masa) para forzar la penetración del cono o muestreador. La información proporcionada puede correlacionarse con propiedades básicas del suelo, como cohesión o ángulo de fricción.

Una vez extraídas las muestras, se llevan al laboratorio, y se procede a realizar la descripción del material mediante inspección visual para elaborar la estratigrafía, y se determina las propiedades índice, tales como el peso unitario (ASTM D-2937), límites de plasticidad (ASTM D-4318), humedad (ASTM D-2216), granulometría (ASTM D-422), porcentaje de finos (ASTM C-117/136), etc; y se realiza la clasificación SUCS del material (ASTM D 2487).

3. Trabajo Realizado

Se realizaron 9 sondeos de capacidad de soporte en los diferentes sitios de interés, cuya ubicación se muestra en el **ANEXO A “Ubicación de los sondeos realizados”** de este informe. Los sondeos se realizaron con el objetivo de caracterizar los diferentes estratos que pudieran presentarse.

Adicionalmente se extrajeron muestras del material para pruebas de laboratorio, concretamente límites de plasticidad y contenido de humedad, para caracterizar el suelo superficial, los cuales se presentan en el **ANEXO B “Registro de perforaciones y resultados de pruebas de laboratorio realizadas”**.

4. Resultados Geotécnicos Obtenidos

Perfil estratigráfico

Los resultados de los sondeos de campo y las pruebas de laboratorio se pueden observar en el ANEXO A. El perfil estratigráfico y algunas propiedades índices de los materiales encontrados en las perforaciones se resumen a continuación:

SONDEO P1

Profundidad

0.00 – 0.55 m

Descripción

Arena limosa color gris oscuro, de consistencia blanda (N_{SPT} igual a 4 golpes).

% humedad = 32.5%

Angulo de fricción: 0.0°

Cohesión total: 2.0 ton/m²

0.55 – 1.90 m

Arena limosa (SM) color café grisáceo, de consistencia medianamente rígida (N_{SPT} entre 5 y 7 golpes).

% humedad = 28.9 – 30.1%

Porcentaje de finos: 87.6%

LL = NP

IP = NP

SUCS = SM

Angulo de fricción: 0.0°

Cohesión total: 2.5 – 3.5 ton/m²

1.90 – 5.95 m

Limo de alta plasticidad (MH) color café, de consistencia rígida a dura (N_{SPT} entre 14 y 97 golpes).

% humedad = 26.4 – 32.5%

Porcentaje de finos: 87.6%

LL = 65%

IP = 32%

SUCS = MH

Angulo de fricción: 0.0°

Cohesión total: 7.0 - 13.5 ton/m²

SONDEO P2
Profundidad
0.00 – 0.55 m

Descripción

Limo color café oscuro, de consistencia medianamente rígida (N_{SPT} igual a 5 golpes).
% humedad = 28.4%
Angulo de fricción: 0.0°
Cohesión total: 2.5 ton/m²

0.55 – 6.40 m

Limo de alta-baja plasticidad (MH-ML) color café, de consistencia medianamente rígida a dura (N_{SPT} entre 8 y 90 golpes).
% humedad = 28.2 – 32.4%
Porcentaje de finos: 50.2 – 68.0%
LL = NP – 56%
IP = NP – 17%
SUCS = ML - MH
Angulo de fricción: 0.0°
Cohesión total: 4.0 - 13.5 ton/m²

SONDEO P3
Profundidad
0.00 – 1.00 m

Descripción

Limo de baja plasticidad (ML) color gris oscuro con rocas color gris y limo color café, de consistencia medianamente rígida a muy rígida (N_{SPT} entre 9 y 21 golpes).
% humedad = 18.1 – 30.5%
Porcentaje de finos: 50.5%
LL = NP
IP = NP
SUCS = ML
Angulo de fricción: 0.0°
Cohesión total: 4.5 – 10.5 ton/m²

1.00 – 6.40 m

Limo de baja plasticidad (ML) color café, con vetas color café grisáceo, de consistencia rígida a dura (N_{SPT} entre 11 y 77 golpes).
% humedad = 27.6 – 33.9%
Porcentaje de finos: 51.1%
LL = NP
IP = NP
SUCS = ML
Angulo de fricción: 0.0°
Cohesión total: 5.5 – 13.5 ton/m²

SONDEO P4
Profundidad
0.00 – 0.55 m

Descripción

Arena limosa color gris, de consistencia rígida (N_{SPT} igual a 20 golpes).
% humedad = 17.2%
Angulo de fricción: 0.0°
Cohesión total: 10.0 ton/m²

0.55 – 4.15 m	Limo de alta plasticidad (MH) color gris, de consistencia medianamente rígida a dura (N_{SPT} entre 6 y 43 golpes). % humedad = 26.2 – 34.9% Porcentaje de finos: 88.2% LL = 60% IP = 22% SUCS = MH Angulo de fricción: 0.0° Cohesión total: 3.0 – 13.5 ton/m ²
4.15 – 5.50 m	Limo color beige grisáceo con vetas color café y grumos color café, de consistencia dura (N_{SPT} entre 30 y 79 golpes). % humedad = 25.6 – 28.4% Angulo de fricción: 0.0° Cohesión total: 13.5 ton/m ²
SONDEO P5 Profundidad 0.00 – 5.50 m	Descripción Limo de alta plasticidad (MH) color café grisáceo con vetas gris y grumos color café, de consistencia medianamente rígida a dura (N_{SPT} entre 6 y 69 golpes). % humedad = 24.9 – 35.4% Porcentaje de finos: 65.4% LL = 62% IP = 22% SUCS = MH Angulo de fricción: 0.0° Cohesión total: 3.0 – 13.5 ton/m ²
SONDEO P6 Profundidad 0.00 – 1.00 m	Descripción Arena limosa color gris oscuro con vetas color gris oscuro, de consistencia medianamente rígida (N_{SPT} entre 7 y 8 golpes). % humedad = 5.6 – 36.4% Angulo de fricción: 0.0° Cohesión total: 3.5 – 4.0 ton/m ²
1.00 – 2.80 m	Limo color café grisáceo, de consistencia medianamente rígida a rígida (N_{SPT} entre 6 y 13 golpes). % humedad = 29.9 – 32.1% Angulo de fricción: 0.0° Cohesión total: 3.0 – 6.5 ton/m ²
2.80 – 5.50 m	Limo de baja plasticidad (ML) color gris, de consistencia rígida a dura (N_{SPT} entre 12 y 72 golpes). % humedad = 29.6 – 32.7% Porcentaje de finos: 50.9%

LL = NP
IP = NP
SUCS = ML
Angulo de fricción: 0.0°
Cohesión total: 6.0 - 13.5 ton/m²

SONDEO P7
Profundidad
0.00 – 3.25 m

Descripción

Arena limosa (SM) color gris oscuro, de consistencia medianamente rígida a rígida (N_{SPT} entre 6 y 15 golpes).
% humedad = 24.0 – 25.6%
Porcentaje de finos: 50.9%
LL = NP
IP = NP
SUCS = SM
Angulo de fricción: 0.0°
Cohesión total: 3.0 – 7.5 ton/m²

3.25 – 5.05 m

Arcilla de alta plasticidad (CH) color café grisáceo oscuro, de consistencia medianamente rígida a dura (N_{SPT} entre 9 y 70 golpes).
% humedad = 29.3 – 33.8%
Porcentaje de finos: 77.6%
LL = 87%
IP = 52%
SUCS = CH
Angulo de fricción: 0.0°
Cohesión total: 4.5 - 13.5 ton/m²

SONDEO P8
Profundidad
0.00 – 2.35 m

Descripción

Arena limosa (SM) color gris, de consistencia medianamente rígida a dura (N_{SPT} entre 6 y 88 golpes).
% humedad = 13.3 – 21.6%
Porcentaje de finos: 35.8%
LL = NP
IP = NP
SUCS = SM
Angulo de fricción: 0.0°
Cohesión total: 3.0 – 13.5 ton/m²

SONDEO P9
Profundidad
0.00 – 2.35 m

Descripción

Arena limosa (SM) color café, de consistencia medianamente rígida a rígida (N_{SPT} entre 5 y 13 golpes). Se determinó la presencia de hidrocarburos en la matriz de suelo.
% humedad = 29.3 – 31.6%
Porcentaje de finos: 49.9%
LL = NP

IP = NP
SUCS = SM
Angulo de fricción: 0.0°
Cohesión total: 2.5 – 6.5 ton/m²

2.35 – 6.85 m

Limo de baja plasticidad (ML) color café claro, de consistencia rígida a dura (N_{SPT} entre 14 y 90 golpes).
% humedad = 27.5 – 34.1%
Porcentaje de finos: 52.4%
LL = NP
IP = NP
SUCS = ML
Angulo de fricción: 0.0°
Cohesión total: 7.0 - 13.5 ton/m²

Nivel freático

En los sondeos realizados se determinó la presencia del nivel freático a 1.0 m en los sondeos P1 y P3, a 1.50 m en el sondeo P2 y a 0.45 m en el sondeo P9, medido bajo el nivel actual del terreno y en la fecha de ejecución de los ensayos de campo. Este nivel obedece a un nivel de agua colgado y puede variar a lo largo del año, e incluso desaparecer. En los restantes sondeos (P4, P5, P6, P7 y P8) no se determinó la presencia del nivel de agua hasta la profundidad explorada.

5. Evaluación de Resultados y Conclusiones Geotécnicas

Capacidad de soporte del suelo

La Tabla 1, muestra el valor estimado de N_{SPT} para las zonas de cada sondeo, por otro lado, tal y como se mostró en el perfil estratigráfico de la sección 6 anterior, en las zonas exploradas se localizaron suelos de comportamiento cohesivo (limos, arcillas y arenas limosas), de esta forma la resistencia del suelo puede entonces estimarse de acuerdo con la Tabla 2.

En el caso de placas, para estimar la capacidad de carga del suelo se utilizó la teoría de Terzaghi en esfuerzos totales. Según esta teoría, la capacidad de carga última neta de un suelo está dada por (Código de Cimentaciones de Costa Rica):

$$q_{un} = \frac{\gamma_1 B}{2} N_\gamma + c N_c + \gamma_2 D_f (N_q - 1) \quad (\text{Ecuación \# 1})$$

donde

B es el ancho de la placa

c es la cohesión del material

γ_1 es el peso volumétrico del suelo por debajo del nivel de desplante

γ_2 es el peso volumétrico del suelo por encima del nivel de desplante

D_f es el nivel de desplante

N_γ, N_c y N_q son factores de capacidad de carga

Se considera capacidad de carga neta porque se supone que el cimiento quedará enterrado, por lo cual en la estimación de cargas debe considerarse el peso del suelo sobre el cimiento.

Se recomienda colocar las placas de cimentación o rellenos de sustitución hasta los niveles de desplante indicados en la Tabla 3, y diseñar las placas de acuerdo a la capacidad de soporte dada, o considerar la construcción de una losa flotante, o bien el uso de cimentaciones profundas como micropilotes, pilotes, pilotes helicoidales, sistema geopier, columnas de grava, jet grouting, o técnicas de mejoramiento del terreno como precarga, compactación dinámica, acompañados de un sistema de drenaje para acelerar el proceso de mejora. Ver Figura 3.

En general, se recomienda remover el suelo blando, orgánico y/o mal compactado que sea detectado durante el proceso constructivo, y sustituirlo por un material granular compactado.

Sistema de Cimentación Propuesto

Después de evaluar las características mecánicas del suelo, se recomienda diseñar la cimentación según los valores mostrados en la Tabla 3 para placas con niveles de desplante en profundidad. Para alcanzar los niveles de desplante recomendados se puede hacer uso de alguno de los siguientes sistemas:

- 1) **Relleno de sustitución bajo las placas corridas:** se debe excavar hasta el nivel de desplante requerido una zanja del ancho de la cimentación, y comenzar a rellenar con un material granular compactado hasta el nivel de placa deseado. Este relleno granular debe tener un contenido de finos máximo del 20%, índice de plasticidad inferior al 6%, tamaño máximo de la partícula inferior a 1 1/2 pulgada, una densidad de al menos el 95% del Proctor Modificado, con granulometría tipo B o C según se muestra en la Tabla 6. Se debe tener cuidado durante el proceso constructivo, ya que la vibración del equipo de compactación puede desestabilizar las paredes de las zanjas, por lo que para profundidades mayores a 1.5 m se deben usar ademes.
- 2) **Cimentación de las placas corridas al nivel de desplante recomendado:** se excava al nivel de desplante recomendado, se coloca un relleno de sustitución de al menos 20 cm de material granular compactado y se construyen los cimientos de concreto hasta el nivel de piso, y luego se rellena las zanjas con un material compactado. Es recomendable que a nivel superficial se construya un sistema de vigas de amarre para disminuir la esbeltez y evitar el pandeo del elemento, así como deformaciones importantes durante eventos sísmicos.

El sistema de fundación recomendado son placas corridas y/o cuadradas con las capacidades y profundidades recomendadas en la Tabla 3, losas flotantes, o cualquier otro sistema de cimentación que minimice los riesgos de asentamientos diferenciales o presiones de hinchamiento del material por expansión. Si se requiriese una mayor capacidad debe profundizarse la placa hasta la capacidad requerida o colocar un relleno de material granular compactado según lo descrito anteriormente, y realizar un análisis de distribución de esfuerzos. En la Figura 3 se muestra un esquema del tipo de cimentación propuesta.

En la Tabla 4 se muestra el módulo elástico estimado y el coeficiente de balastro ($K_{0.3}$) para una placa de 1 pie².

Si la cimentación se diseña por el método flexible, el coeficiente $K_{0.3}$ debe ser ajustado al tamaño de la placa para cimentaciones cuadradas ($B \times B$) sobre materiales cohesivos mediante la ecuación:

$$K_{BxB} = K_{0.3} \frac{0.3}{B}$$

En el caso de placas corridas con dimensiones $B \times L$ se debe usar la ecuación:

$$K_{BxL} = K_{BxB} \frac{\left(1 + 0.5 \frac{B}{L}\right)}{1.5}$$

donde

B es el ancho de la placa en metros

L es la longitud del cimiento en metros

$K_{0.3}$ es el coeficiente de balastro para una placa de 1 pie² en ton/m³

K_{BxB} es el coeficiente de balastro para una placa de $B \times B$ en ton/m³

K_{BxL} es el coeficiente de balastro para una placa de $B \times L$ en ton/m³

Análisis de asentamientos

En este sentido se exhorta diseñar la cimentación con las capacidades de soporte y los sistemas de cimentación recomendados para evitar problemas de asentamientos diferenciales.

Efectos de amplificación dinámica y tipo de perfil de suelo para diseño sísmico de estructuras

En el caso estudiado, dada la consistencia de los suelos encontrados hasta la profundidad explorada, se recomienda utilizar un **perfil de tipo S3**. Considerando la zona donde se ubica el proyecto, **Zona III**, se recomienda una **aceleración pico efectiva de 0.36g** con periodo de retorno de 475 años para el diseño estructural de las estructuras según el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR 2010).

Parámetros para diseños de muros

Para la estabilidad de las obras se recomienda usar los parámetros de diseño mostrados en la Tabla 5 según la teoría de Rankine. Estos parámetros pueden ser usados para el diseño de muros de contención de poca altura (menor a 5.0 m). Muros de mayor altura deben ser analizados mediante un estudio específico para tal fin.

Recomendaciones para rellenos

Sobre el suelo compacto se recomienda colocar una capa de material granular con un CBR del 30%, con un contenido de finos máximo del 20%. El índice de plasticidad de este material granular no debe ser mayor a 6%. El tamaño máximo de la partícula de este material será inferior a 1 1/2".

La densidad del material debe alcanzar al menos el 95% del Proctor Modificado. La graduación del material puede ser tipo B o C según se muestra en la Tabla 6.

Un relleno granular con adecuada compactación es de esperar que tenga un ángulo de fricción interno de 30.0° , un $K_a = 0.33$, un $K_p = 3.0$ y un peso unitario entre 1.8 a 2.2 ton/m^3 . Estos valores deben ser corroborados en campo.

Evaluación del potencial de licuefacción del terreno

El Código de Cimentaciones de Costa Rica establece que: *“La licuación es el fenómeno por medio del cual los depósitos no arcillosos, principalmente arenas y limos pierden temporalmente su resistencia y se comportan más bien como un líquido viscoso en lugar de un sólido”*.

Además, establece que: *“La licuación se genera en un suelo sin cohesión, flojo y saturado, cuando las ondas sísmicas distorsionan su estructura y aumentan la presión de poros hasta anular las tensiones efectivas”*.

La licuación sucede en arenas y gravas limpias, finas, uniformes, con baja compactación relativa y presencia de nivel freático. También, se ha observado que suelos finos pueden ser susceptibles a licuación si presentan algunas de las siguientes características: fracción con tamaños menores a 0.005 mm menores al 15%, límite líquido (LL) inferior al 35%, Índice de liquidez inferior al 75%.

Debido a las consideraciones anteriores y luego de evaluar las condiciones del suelo encontrado hasta la profundidad explorada en las perforaciones, NO se estima la posibilidad de riesgo de licuefacción.

6. Discusión Sobre los Grados de Incertidumbre y Alcance del Estudio

Como en cualquier estudio derivado de resultados de perforaciones, solamente se puede tener certeza plena de las condiciones del subsuelo en los sitios puntuales en donde se realizaron los sondeos. Por lo que los resultados obtenidos son solo aplicables al área de proyecto estudiada.

Si las cargas estructurales son mayores a las capacidades de soporte recomendadas, y el uso de placas de cimentación convencional no es viable, se deberán de realizar perforaciones a mayor profundidad para determinar las capacidades de soporte de cimentaciones profundas como pilotes, micropilotes, sistema geopier, columnas de grava, etc.

Si durante la etapa constructiva se encuentran condiciones no estudiadas en el presente informe, se deberán realizar los estudios pertinentes.

Queda bajo responsabilidad del profesional responsable del diseño o la construcción la aplicación de las recomendaciones generales ofrecidas en este informe a casos particulares, pues no se puede garantizar que las condiciones del subsuelo no varían de un sitio a otro aun en distancias cortas.

Los resultados obtenidos indican que el proyecto a desarrollar es factible, teniendo en cuenta siempre las condiciones del terreno soportante.

7. Referencias Bibliográficas

1. Abramsom, Lee W; Lee, Thomas S.; Sharma, Sunil; Boyce, Glenn M. "Slope Stability and Stabilization Methods". Editorial John Wiley & Sons, Inc. 1996.
2. Asociación Costarricense de Geotecnia. "Código de Cimentaciones de Costa Rica". Editorial Tecnológica de Costa Rica. 2009.
3. Braja M, Das. "Principios de ingeniería de cimentaciones". Editorial Thomson. Quinta edición. 2006.
4. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. "Código Sísmico de Costa Rica 2010". Editorial Tecnológica de Costa Rica. 2011.
5. Cornforth, Derek H. "Landslides in Practice". Editorial John Wiley & Sons, Inc. 2005.
6. Duncan, J. Michael; Wright, Stephen G. "Soil Strenght and Slope Stability". Editorial John Wiley & Sons, Inc. 2005.
7. Kramer, Steven. "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, 1996.
8. Suárez Díaz, Jaime. "Control de erosión en zonas tropicales". Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Colombia. Noviembre 2001.
9. Terzaghi, Karl; Peck, Ralph B.; Mesri, Gholamreza. "Soil Mechanics in Engineering Practice". Editorial John Wiley & Sons, Inc. Tercera edición. 1996.
10. Villón Béjar, Máximo. "Drenaje". Editorial Tecnológica de Costa Rica, Costa Rica. 2007.
11. Whitlow, Roy. "Fundamentos de mecánica de suelos". Longman Group, UK Limited, Londres, 1994.

8. Tablas y Figuras

Tabla 1. Profundidades y valores de N_{SPT} para los sondeos realizados

Profundidad (m)	SPT								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
0.00 - 0.55	4	5	21	20	6	7	15	15	7
0.55 - 1.00	5	8	9	9	9	8	14	8	11
1.00 - 1.45	5	8	13	6	12	6	6	6	5
1.45 - 1.90	7	9	11	7	11	8	12	16	9
1.90 - 2.35	15	15	24	11	39	9	7	88	13
2.35 - 2.80	28	17	35	30	56	13	9		14
2.80 - 3.25	14	25	45	40	36	12	8		21
3.25 - 3.70	14	36	44	43	33	15	9		19
3.70 - 4.15	26	26	37	33	25	16	21		24
4.15 - 4.60	17	31	41	30	46	21	33		32
4.60 - 5.05	55	26	37	40	69	36	70		29
5.05 - 5.50	58	46	77	79	R	72			47
5.50 - 5.95	97	42	70						50
5.95 - 6.40		90	R						56
6.40 - 6.85									90

Tabla 2. Parámetros del suelo en función del N_{SPT}

Número de penetración estándar, N	Consistencia	Resistencia a compresión no confinada, q_u (KN/m ²)
0-2	Muy blanda	0-25
2-5	Blanda	25-50
5-10	Medio firme	50-100
10-20	Firme	100-200
20-30	Muy firme	200-400
>30	Dura	>400

Tabla 3. Capacidad de soporte admisible (FS=3.0) en ton/m² para placas

Nivel de desplante (m)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.50	-	-	10.3	-	10.3	-	-	-	-
2.00	13.1	14.0	22.4	10.3	25.0	-	-	25.0	12.1
2.50	13.1	15.9	25.0	25.0	25.0	11.2	-		13.1
3.00	13.1	23.3	25.0	25.0	25.0	11.2	-		17.7
3.50	13.1	24.3	25.0	25.0	25.0	14.0	-		17.7
4.00	15.9	24.3	25.0	25.0	25.0	14.9	19.6		22.4
4.50	15.9	24.3	25.0	25.0	25.0	19.6	25.0		25.0
5.00	25.0	24.3	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0		25.0
5.50	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0			25.0
6.00		25.0	25.0						25.0
6.50									25.0

Tabla 4. Parámetros elásticos del suelo

SONDEO	Profundidad (m)	Modulo elástico E _o (ton/m ²)	Coficiente de balastro vertical K _{0.3} (ton/m ³)
P1	2.0	660	2930
P2	2.0	760	3350
P3	1.5	520	2300
P4	2.0	520	2300
P5	1.5	520	2300
P6	2.5	570	2500
P7	4.0	995	4400
P8	2.0	760	3350
P9	2.0	615	2720

Nota: los valores de E_o y K_{0.3} corresponden a cargas de corta duración. Si se consideran cargas permanentes que produzcan cortante (V) y momento (M) y se da consolidación se multiplica los valores de E_o y K_{0.3} por 0.25.

Tabla 5. Parámetros del suelo para diseño de muros

Nivel de desplante (m)	Peso unitario (ton/m ³)	Angulo de fricción (°)	Coef. empuje activo K _a (adim)	Coef. empuje pasivo K _p (adim)	Coef. empuje en reposo K _o (adim)	Coef. de fricción suelo-hormigón, μ (adim)
0.00 a 1.90	1.50	14.0	0.61	1.64	0.76	0.17
1.90 a 4.60	1.60	18.0	0.53	1.89	0.69	0.22
4.60 a 6.85	1.75	28.0	0.36	2.77	0.53	0.35

Tabla 6. Granulometría recomendada para subbase

Abertura de la malla	Porcentaje por peso pasando la malla cuadrada				
	AASHTO T 27 y AASHTO T 11				
	Requerimientos de Granulometría				
	A (Sub-base)	B (Sub-base)	C (Base)	D (Base)	E (Base)
63 mm	100 ⁽¹⁾				
50 mm	97 - 100	100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾		
37,5 mm		97 - 100 ⁽¹⁾			
25 mm	65 - 79 (6)		80 - 100 (6)	100 ⁽¹⁾	
19 mm			64 - 94 (6)	86 - 100 (6)	100 ⁽¹⁾
12,5 mm	45 - 59 (7)				
9,5 mm				51 - 82 (6)	62 - 90 (6)
4,75 mm	28 - 42 (6)	40 - 60 (8)	40 - 69 (6)	36 - 64 (6)	46 - 74 (7)
425 µm	9 - 17 (4)		31 - 54 (4)	12 - 26 (4)	12 - 26 (4)
75 µm	4 - 8 (3)	4 - 12 (4)	4 - 7 (3)	4 - 7 (3)	4 - 7 (3)

Figura 1. Ubicación del área de estudio

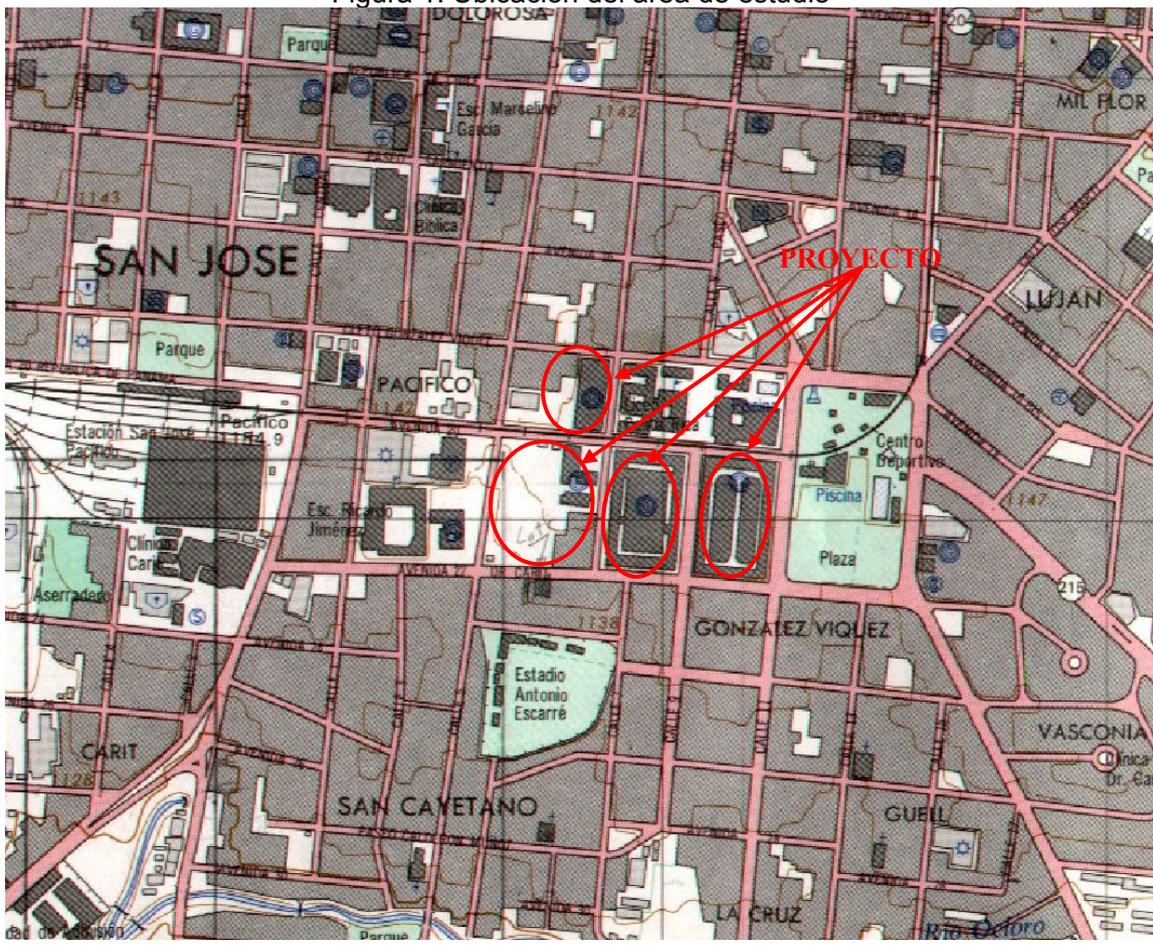
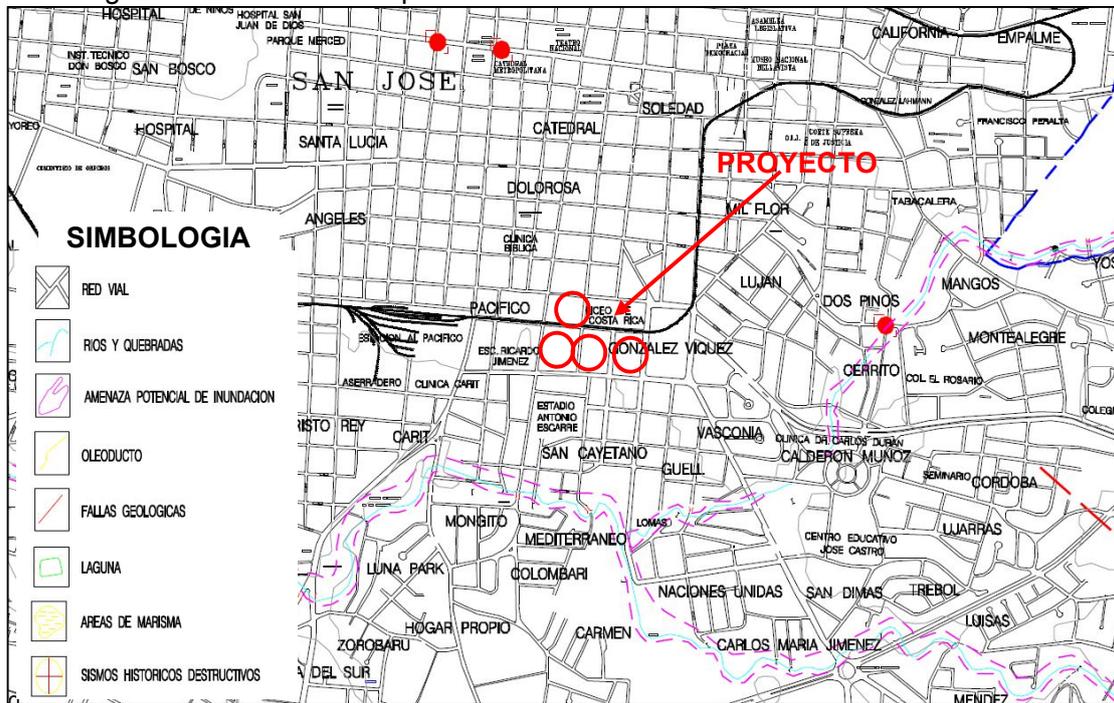
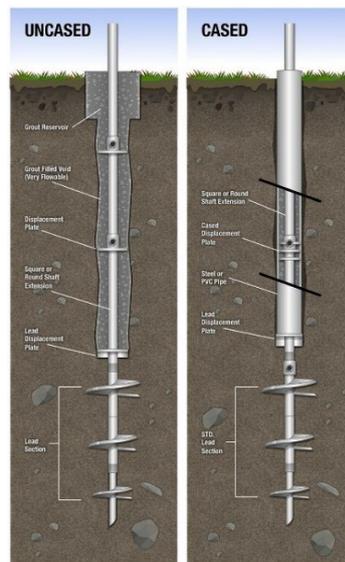
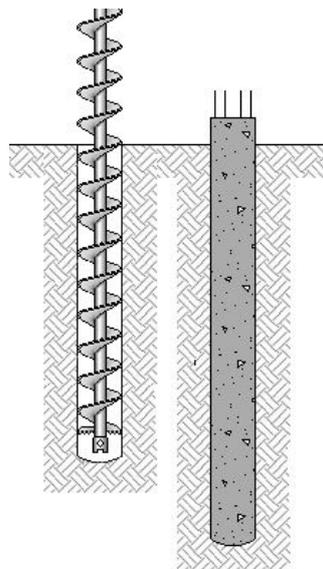
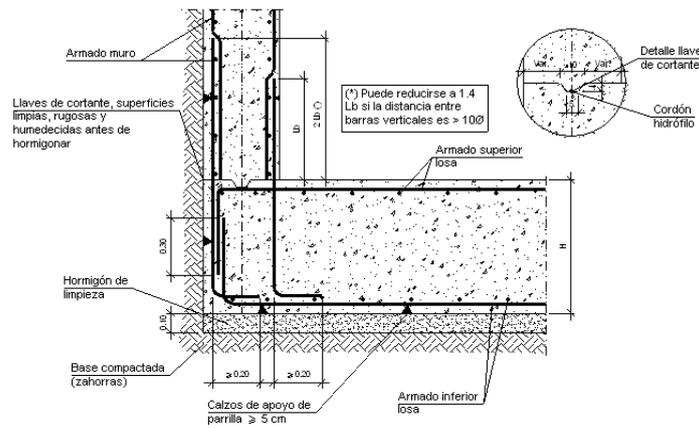
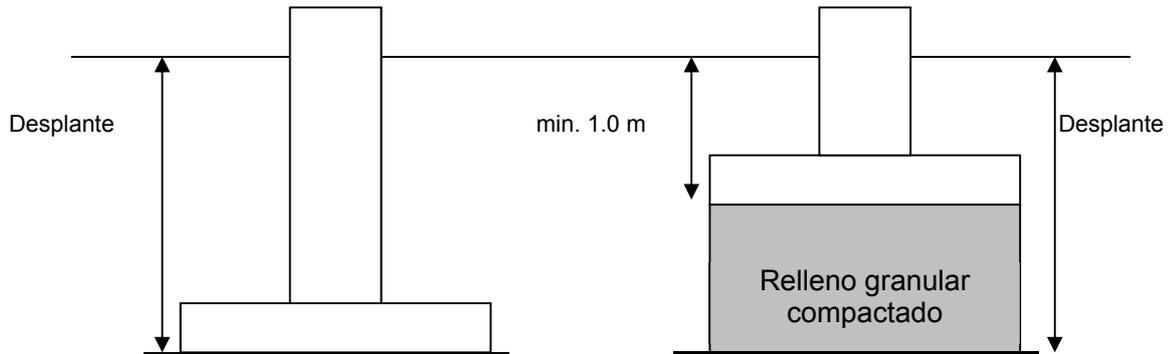


Figura 2. Extracto del mapa de amenazas naturales del cantón de San José



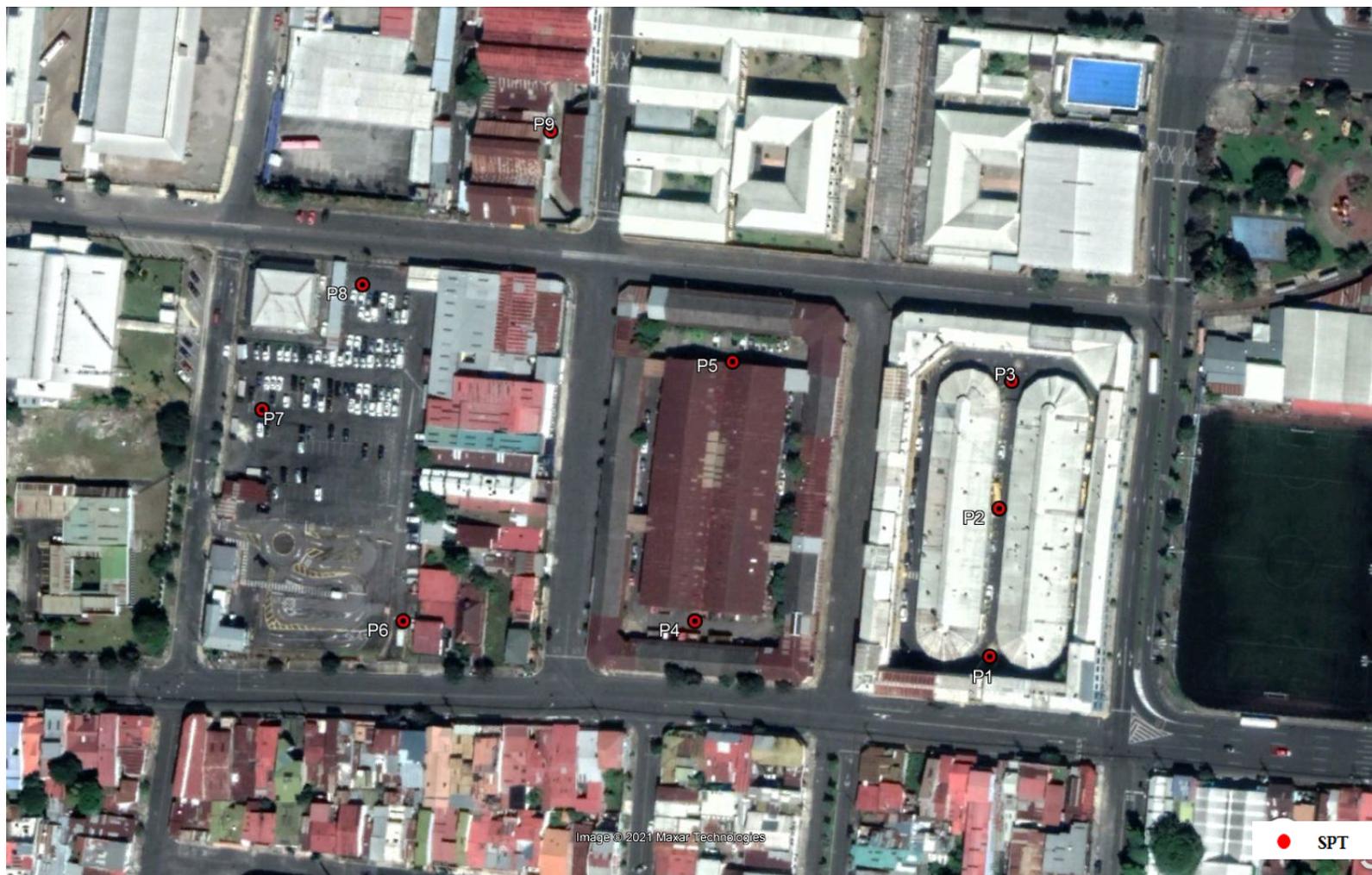
Fuente: www.cne.go.cr

Figura 3. Tipos de cimentación recomendada



9. Anexos

ANEXO A. Ubicación de los sondeos



ANEXO B. Registros de perforaciones y resultados de pruebas de laboratorio realizadas

REGISTRO DE PERFORACION EN SUELO SEGÚN ASTM D-1586					UBICACIÓN: Plaza Víquez, San José PROFUNDIDAD: 5.95 m FECHA: 28/12/2020									
SONDEO N° P1			PROYECTO: Ciudad Gobierno											
Elev. del terreno: - m	LONGITUD TRAMO (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	COLUMNA	DESCRIPCION	N cono	N SPT	RECUPER (%)	PESO UNITARIO (Ton/m3)	Cu (Ton/m2)	LIMITES DE ATTERBERG		HUMEDAD (%)	FINOS PASANDO MALLA 200 (%)	CLASIFICACION SUCS
										LL (%)	IP (%)			
0.00	0.55	0.55		Arena limosa color gris oscuro		4						32.5		
0.55	1.00					5						28.9		
1.00	1.45	1.35		Arena limosa color café grisáceo		5				NP	NP	30.1	48.7	SM
1.45	1.90					7						29.9		
1.90	2.35					15						28.7		
2.35	2.80					28						28.4		
2.80	3.25					14						28.1		
3.25	3.70					14						26.9		
3.70	4.15	4.05		Limo color café		26						32.5		
4.15	4.60					17				65	32	26.4	87.6	MH
4.60	5.05					55						30.8		
5.05	5.50					58						27.8		
5.50	5.95					97						28.1		
OBSERVACIONES:														
MA = Muestra Alterada					MI = Muestra Inalterada									
NP = No Plástico					R = Rebote del mazo					NR = Perforación sin Recuperación de Muestra				

REGISTRO DE PERFORACION EN SUELO SEGÚN ASTM D-1586				Geotecnia & Construcción INGENIEROS CONSULTORES											
SONDEO N° P2				PROYECTO: Ciudad Gobierno				UBICACIÓN: Plaza Víquez, San José							
								PROFUNDIDAD: 6.40 m		FECHA: 28/12/2020					
Elev. del terreno: - m	PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD TRAMO (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	COLUMNA	DESCRIPCION	N cono	N SPT	RECUPER (%)	PESO UNITARIO (Ton/m3)	Qu (Ton/m2)	LIMITES DE ATTERBERG		HUMEDAD (%)	FINOS PASANDO MALLA 200 (%)	CLASIFICACION SUCS
											LL (%)	IP (%)			
0.00	0.55	0.55			Limo color café oscuro		5						28.4		
0.55	1.00						8						29.4		
1.00	1.45						8						28.8		
1.45	1.90		1.50				9						29.9		
1.90	2.35						15						28.2		
2.35	2.80						17				56	17	28.9	68.0	MH
2.80	3.25						25						28.3		
3.25	3.70	5.85			Limo color café		36						28.7		
3.70	4.15						26						32.4		
4.15	4.60						31						31.8		
4.60	5.05						26						31.4		
5.05	5.50						46						29.8		
5.50	5.95						42				NP	NP	30.8	50.2	ML
5.95	6.40						90						29.6		
OBSERVACIONES:															
MA = Muestra Alterada						MI = Muestra Inalterada									
NP = No Plástico						R = Rebote del mazo				NR = Perforación sin Recuperación de Muestra					

REGISTRO DE PERFORACION EN SUELO SEGÚN ASTM D-1586				Geotecnia & Construcción INGENIEROS CONSULTORES															
SONDEO N° P9				PROYECTO: Ciudad Gobierno				UBICACIÓN: Plaza Víquez, San José											
				PROFUNDIDAD: 6.85 m					FECHA: 28/12/2020										
Elev. del terreno: - m	LONGITUD TRAMO (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	COLUMNA	DESCRIPCION				N cono	N SPT	RECUPER (%)	PESO UNITARIO (Ton/m3)	Qu (Ton/m2)	LIMITES DE ATTERBERG		HUMEDAD (%)	FINOS PASANDO MALLA 200 (%)	CLASIFICACION SUCS		
PROFUNDIDAD (m)													LL (%)	IP (%)					
0.00	0.55	0.45		Arena limosa color café. Presencia de hidrocarburos				7							29.3				
0.55	1.00									11							30.1		
1.00	1.45				2.35					5							31.6		
1.45	1.90									9					NP	NP	31.2	49.9	SM
1.90	2.35									13							30.5		
2.35	2.80	4.50		Limo color café claro. Presencia de hidrocarburos.				14							29.7				
2.80	3.25									21							33.0		
3.25	3.70									19							34.1		
3.70	4.15									24							32.0		
4.15	4.60									32							29.7		
4.60	5.05									29							28.9		
5.05	5.50									47							29.6		
5.50	5.95									50							30.0		
5.95	6.40									56							32.9		
6.40	6.85									90					NP	NP	27.5	52.4	ML
OBSERVACIONES:																			
MA = Muestra Alterada						MI = Muestra Inalterada													
NP = No Plástico						R = Rebote del mazo						NR = Perforación sin Recuperación de Muestra							

ANEXO C. Fotos de los sondeos



Fotografía C1. Foto del sondeo P1 con SPT. Proyecto: Ciudad Gobierno. Coordenadas CRTM05: 1097324 N – 491734 W. Fecha: 28/12/2020. Fuente: G&C



Fotografía C2. Foto del sondeo P2 con SPT. Proyecto: Ciudad Gobierno. Coordenadas CRTM05: 1097375 N – 491738 W. Fecha: 28/12/2020. Fuente: G&C



P5



Fotografía C5. Foto del sondeo P5 con SPT. Proyecto: Ciudad Gobierno. Coordenadas CRTM05: 1097426 N – 491644 W. Fecha: 27/01/2021. Fuente: G&C

P6



Fotografía C6. Foto del sondeo P6 con SPT. Proyecto: Ciudad Gobierno. Coordenadas CRTM05: 1097337 N – 491529 W. Fecha: 28/12/2020. Fuente: G&C





ANEXO D: PASTOS PARA EL CONTROL DE EROSION

TABLA 8.12 Características de algunos pastos utilizados para el control de la erosión.

Nombre Científico	Nombre común	Altitud msnm	Temperatura	Lluvias MM/Año	Reproducción	Invasor	Resist Quemaz	Resist Pisoteo	Resist Sequias	Terreno
Vetiveria Zizanoides	Vetiver	0 a 2000	5 a 45	600 a 6000	Tallos enraizados	No	Si	Si	Si	Preferentement e húmedo
Brachiaria Decumbens Stapf	Braquiaria	0 a 2200	20 a 30	800 a 4000	Cepas, estolones y semillas	Si	Si	Si	Si	Bien drenado, ácido
Melinis Minutiflora	Gordura	300 a 3300	18 a 27	800 a 3000	Semillas	No	No	No	No	Bien drenado a húmedo
Pennisetum Clandestinum	Kikuyo	0 a 3300	10 a 30	800 a 2000	Estolones y semillas	Si	Si	Si	Si	Bien drenado a húmedo
Hiparrhenia Rufa Stapf	Puntero	0 a 2000	20 a 30	600 a 1000	Cepas y semillas	No	No	Si	Si	Bien drenado
Dicahanthium Aristatum	Angleton	600 a 1800	23 a 30	1000 a 4000	Estolones y semillas	Si	No	Si	No	Bien drenado neutro
Festuca Arundinacea	Festuca	2000 a 3200	15 a 20	900 a 1700	Semillas	No	No	No	No	Húmedo a bien drenado
Panicum Maximum	Guinea	0 a 2200	20 a 30	1000 a 4000	Cepas y semillas	No	No	No	No	Húmedo a bien drenado
Brachiaria Mutica	Para-Admirable	0 a 1700	22 a 30	1000 a 4000	Estolones	Si	Si	Si	No	Húmedo
Disitaria Decumbens	Pangola	0 a 2200	18 a 30	1000 a 2000	Estolones	Si	Si	Si	Si	Húmedo a bien drenado
Lolium Perenne	Raigras Perenne	2200 a 3000	10 a 20	1500 a 4000	Semilla	No	No	Si	No	Húmedo
Centrosema Plumieri	Centro	0 a 1600	25 a 30	600 a 1000	Cepas (Rastrero)	Si	No	Si	Si	Secos
Pueraria Phaseoloides	Kudzu Tropical	0 a 2000	22 a 30	1000 a 2000	Cepas (Rastrero)	Si	No	No	No	Húmedo a bien drenado
Desmodium spp.	Pega – Pega	0 a 3000	18 a 30	1000 a 2000	Cepas (Rastrero)	Si	No	No	Si	Bien drenado
Stenotratum Secundatum	San Agustín	300 a 2000	18 a 25	1000 a 2000	Cepas	Si	No	No	Si	Bien drenado
Penniceteum purpureum	Elefante	300 a 2300	18 a 27	1000 a 3000	Cepas, estolones y semillas.	Si	No	Si	No	Húmedo neutro
Cymbopogum Citratus	Limonaria	300 a 2000	18 a 25	1000 a 3000	Estolones	No	No	Si	Si	Bien drenado

Vetiver



Manicillo



San Agustin

